

REINO LAAKSONEN

**JÄRVISYVÄNTEET VESIVIRANOMAISEN  
1965—1970 MAALISKUUSSA TEKEMIEN  
HAVAINTOJEN VALOSSA**

English Summary

**Observations on Lake Deeps by the Water Authority in March 1965—1970**

**VESIHALLITUS — NATIONAL BOARD OF WATERS, FINLAND  
Helsinki 1972**



## ALKUSANAT

Käsillä oleva järvien veden laatua koskeva tutkimus on syntynyt toissijaisena tuotteena vesiviranomaisen hyväksikäyttämistä järvisyvänteiden tilan seurantahavainnoista. Näistä vuodesta 1965 lähtien tehdyistä havainnoista on koostunut laajahko aineisto, jonka samanaikaisen ja tehokkaan jälkikäsitteilyn tietokonetekniikka on tehnyt mahdolliseksi. Näin aineistoa on voitu tarkastella alkuperäisestä tarkoituksesta poikkeavalla tavalla. Tässä tutkimuksessa huomio on kohdistettu erillisten havaintopaikkojen tarkastelun sijasta eri tavoin muodostettuihin ryhmiin. Tulosten esittely perustuu suurelta osin kuviin, joita on kaikkiaan 69.

Prof. Reino Ryhänen sekä maist. Lauri Tarkkonen ovat tutustuneet tutkimuksen käsikirjoitukseen ja antaneet monia sitä koskevia neuvoja. Maist. Pertteli Juvani on tarkistanut käsikirjoituksen suomenkielisen osan kieliasun ja maist. Ritva Viinikka englanninkielellä kirjoitetun yhteenvedon. Rva Irma Nylander on piirtänyt tutkimuksessa olevat kuvat. Esitän heille samoin kuin kaikille niille vesientutkimuslaitoksen toimihenkilöille, jotka ovat tavalla tai toisella osallistuneet tutkimuksen valmisteluun, parhaat kiitokseni.

Helsingissä, maaliskuussa 1972

Reino Laaksonen

## SISÄLLYS

- Alkusanat
- 1. Johdanto
  - 1.1 Havaintoaineisto
  - 1.2 Tutkimuksen tarkoitus
  - 1.3 Tutkimuksen suorittaminen
- 2. Keskiarvot ja -hajonnat sekä korrelaatiot
  - 2.1 Koko maa
  - 2.2 Muuttujaryhmät
    - 2.21 Elektrolyytit
    - 2.22 pH ja alkaliniteetti
    - 2.23 Kiintoaine, rauta, väri ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutus
    - 2.24 Lämpötila, happi ja hiilidioksidi
    - 2.25 Kokonaisfosfori, -typpi ja pii
  - 2.3 Pohja
- 3. Veden laadun muuttuminen
  - 3.1 Eräitä näkökohtia
  - 3.2 Muutokset eräissä vesistöryhmissä
- 4. Faktorointi
  - 4.1 Faktorianalyysista
  - 4.2 Faktorit
  - 4.3 Veden laatu faktorien ilmaisemana
    - 4.31 Pintavesi ja päänlyysvesi
    - 4.32 Keskivesi
    - 4.33 Alusvesi
    - 4.34 Tulosten tarkastelu
- 5. Havaintopaikkojen ryhmittely
  - 5.1 Ryhmittelyanalyysista
  - 5.2 Tulokset
- 6. Tiivistelmä

English Summary

Kirjallisuutta

Liitteet

## 1. JOHDANTO

### 1.1 HAVAINTOAINEISTO

Vuonna 1962 käyttöön otetusta virtahavaintopaikkaverkosta saatavan tiedon täydentämiseksi ryhdyttiin vuoden 1965 alusta silloisen vesiviranomaisen toimesta säännöllisesti tarkkailemaan veden laatua kerran talvessa myös tärkeiksi katsottujen suurien tai suurehkojen järvien pääsyvänteissä. Näiden nk. syvännenhavaintopaikkojen määrä eri vuosina käy ilmi seuraavasta:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970	$\bar{x}$
Havaintopaikkoja	151	155	155	156	158	158	155

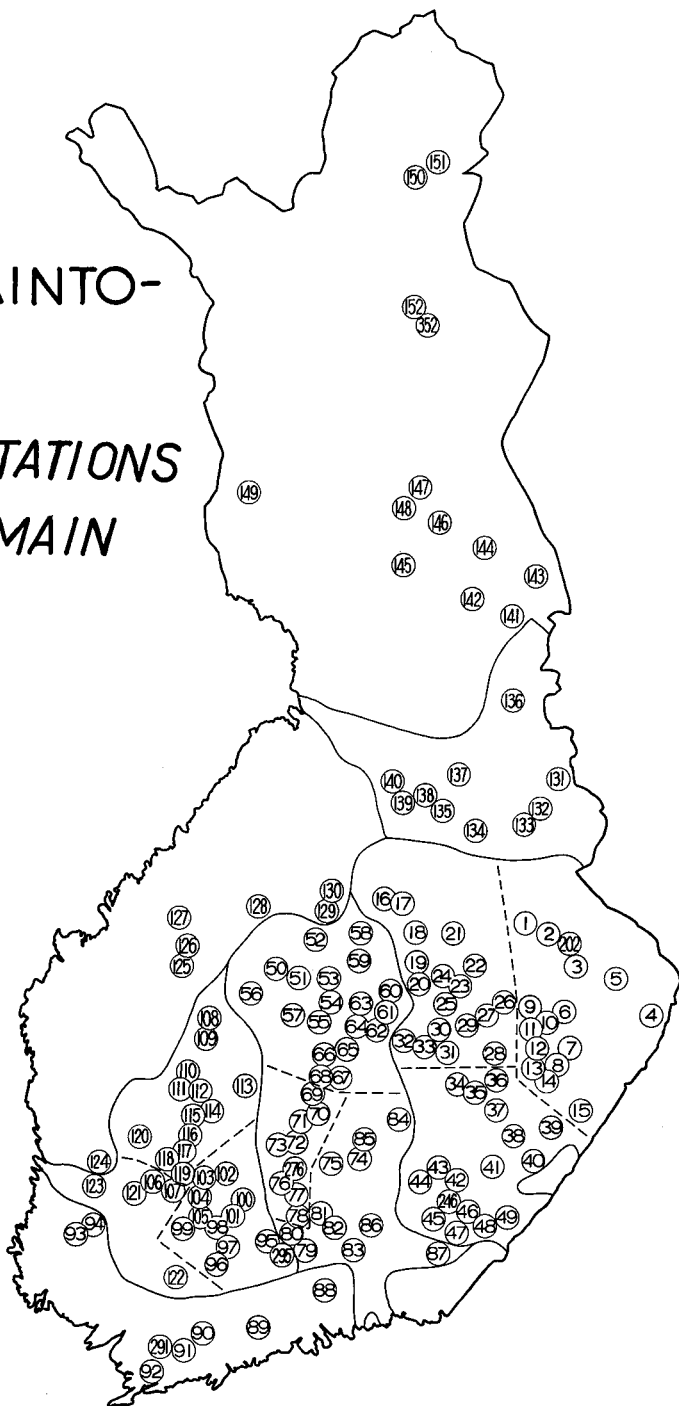
Havaintopaikkoja on vuosittain ollut käytössä keskimäärin 155. Niiden määrään on ratkaisevasti vaikuttanut piirihallinnon tutkimushenkilökunnan kyky selviytyä muiden toimien ohella maaliskuun 15. ja 31.päivien välisenä aikana suoritettavasta näytteiden otosta ja siitä osasta analysointia, joka on suoritettu piirien laboratorioissa (liite 1).

Havaintopaikkojen sijainti sekä niiden ryhmittely käyvät ilmi kuvasta 1. Valtaosa havaintopaikoista eli noin 75 % on Vuoksen (51 havaintopaikkaa), Kymijoen (39) ja Kokemäenjoen (30) vesistöalueilla. Onhan kysymyksessä syvännetutkimus, jonka painopiste tästä syystä on nimenomaan Järvi-Suomessa. (Vrt. myös kuva 2). Koko rannikon vähäjärviden vesistöjen osuudeksi tuleekin vain 14 havaintopaikkaa samoin kuin Oulujoen vesistön (10) pohjoispuolella (14). - Yksityiskohtaiset tiedot havaintopaikkojen sijainnista on esitetty "Vesiensuojelutoimiston tiedonantoja"-sarjan julkaisuissa 26, 33, 35, 45 ja 59 (1967-1970) sekä "Vesihallituksen tiedotus"-sarjan julkaisussa 23 (1972), jossa myös on havaintopaikkojen karttakoordinaatit.

KUVA  
FIG. 1

SYVÄNNEHAVAINTO-  
PAIKAT

OBSERVATION STATIONS  
ON THE LAKE MAIN  
DEEPS



- Tutkimuksen painopiste on selvästi Vuoksen, Kymijoen ja Kokemäenjoen vesistöalueilla, joiden järvisyydet Suomen alueella ovat vastaavasti 21,3; 19,1 ja 11,7 prosenttia (Siren 1955). Näillä alueilla olevat havaintopaikat on ryhmitelty edelleen mahdollisuuksien mukaan alaryhmiin. Vuoksen vesistö on jaettu kolmeen osavesistöön: Haukiveden itäpuolinen (16 havaintopaikkaa) ja Haukiveden pohjoispuolinen osa (18) sekä varsinaista Suur-Saimaata jonkin verran pienempi, vesistön eteläinen osa (16), johon mm. Haukivesi ja Puruvesi kuuluvat. Kymijoen vesistössä on erotettu Päijänteeseen pohjoisesta laskevat vedet (18 havaintopaikkaa) ja Päijänne (10) erillisiksi osavesistöiksi. Kokemäenjoen vesistössä on tarkasteltu erikseen Pyhäjärven itäpuolista (13 havaintopaikkaa) ja pohjoispuolista (12) osavesistöä.

Vesinäytteistä tehtyjen fysikaalis-kemiallisten määritysten luku (liite 1) on vuosina 1965-1970 vaihdellut vain vähän, 25:stä 29:ään. Näistä on noin 60 prosenttia tehty nykyisten vesipiirien laboratorioissa. Kaikkea kerättyä tietoa ei ole kuitenkaan sisällytetty tähän tutkimukseen.

Seuraavat muuttujat on sisällytetty käsiteltävään aineistoon: veden korkeus, syvyysvyöhyke (selitys myöhemmin), havaintopaikan koko syvyys, lämpötila, happi, hiilidioksidi, kiintoaine, sähkönjohtokyky, alkaliniteetti, pH, väri, kaliumpermanganaatin kulutus, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, kokonaisriikki, kalium, kalsium, natrium, magnesium, kloridi, rauta, pii, sen vesipatsaan paksuus prosentteina koko syvyydestä, jossa hapen kyllästysarvo prosentteina on yhtä suuri tai suurempi kuin 70,  $\geq 30$  ja  $\geq 10$ . Kaikki määritykset on tehty suodattamattomista näytteistä. Analysoinnissa käytetyt menetelmät on esitetty liitteessä 2.

Havaintopaikkojen pohjan laatua, jota on tutkittu vuosina 1967 ja 1969, kuvaavista muuttujista on suppeaan tarkasteluun sisällytetty seuraavat kahdeksan: hehkutusjäännös, hehkutushäviö, kaliumdikromaatin kulutus, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, rauta, mangaani ja sinkki. Aineisto ja analyysimenetelmät on esitetty "Vesihallituksen tiedotus"-sarjan julkaisussa 7 (1971).

Syvännetutkimuksen havaintopaikoilta kerätty, veden laatua koskeva aineisto koostuu näytteistä, jotka on otettu kahden eri kriteerin mukaan:

- a) Neljästä näytteestä, jotka on otettu 1 metrin, 5 metrin ja vesipatsaan keskikohtaa lähinnä olevan, täyden 5 metrin syvyydestä (h) sekä 1 metri pohjan pinnan yläpuolelta (2h-1).
- b) Lämpötila- ja happikerrostuneisuuden mukaan otetusta sarjasta, jolloin näytteet on otettu happi-, pH-, johtokyky-, väri- ja haju-määrittelyä varten aina, kun lämpötilan muutos, 1 metrin välein mitattuna, on  $\geq 0,2$  °C. Edelleen on näytteenottopaikalla tehtyjen silmäva-  
rausten, sakan väriin perustuvien O<sub>2</sub>-pitoisuusarvioiden perusteella tarpeen mukaan otettu lisää happinäytteitä kerrostuneisuuden tarkentamista varten. Näistä "b-ryhmän" havainnoista on tässä tutkimuksessa käytetty hyväksi vain hapen kerrostuneisuutta koskevia tietoja, jotka on saatu hapen pitoisuutta kuvaavista käyristä ja ilmaistu sen vesipatsaan paksuutena prosentteina koko syvyydestä, jossa hapen kyllästysprosentti on  $\geq 70$ ,  $\geq 30$  ja  $\geq 10$ .

Tutkimuksessa käytettyjen analyysitulosten pääosa koostuu em. "a-ryhmästä", tavanomaises-





Myös useita ilmeisen virheellisiä havaintoja on poistettu tai oikaistu alkuperäisten muistiinpanojen perusteella. Niinpä vuosina 1965 ja 1966 tehdyt kalsiumanalyytit on epävarmoina jätetty pois. Samoin vuoden 1970  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen mittaustuloksia ei ole huomioitu analyysimenetelmän muuttumisen vuoksi. Edelleen on viisi havaintopaikkaa kokonaisuudessaan jätetty tarkastelun ulkopuolelle: 74A (= 274), joksi havaintopaikka 74 muuttui vuonna 1969; 92 Pohjanpitäjänlahti murtovesialueena; 95A (= 295) Pääjärvelle vuonna 1969 lisätty toinen havaintopaikka; 152 ja 152A (= 352), jotka on sijoitettu Lokan altaaseen.

Eräiden määritysten tulokset, jotka ovat lähellä määritystarkkuuden alarajaa, on joskus ilmaistu "< jokin pitoisuus". Menettely edellyttää automaattisessa tietojen käsittelyssä korvausarvojen käyttöä. Tällaisiksi korvausarvoiksi on valittu seuraavat:

	Aineistossa	Laskennassa
Kok. typpi	< 0,1	0,1 mg/l N
Kok. fosfori	< 0,01	0,005 "- P
Kok. rikki	< 0,5	0,4 "- S
Rauta	< 0,05	0 "- Fe
Pii	< 0,5	0,2 "- $\text{SiO}_2$
Kiintoaine	< 0,2	0,1 "-
"-	< 1,0	0,5 "-

## 1.2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Järvien pääsyvänteiden havainnoimisen ensisijaisena tarkoituksena on ollut ja on saada jatkuvasti tietoja järvialtaiden veden laadusta ja siinä mahdollisesti tapahtuvista muutoksista. Pyrkimyksenä on näin ollen ollut viime kädessä tyydyttää sekä vesiensuojelun valvojan että vesien käytön suunnittelijan tiedon tarvetta mahdollistamalla mm. kulloinkin tarkastelun kohteena olevalla havaintopaikalla eri vuosina saatujen tuloksien keskinäinen vertailu. - Seuran tulosten hyväksikäytön mahdollisuudet paranevat, kun eri syvänteiden tilavuuksia koskevat tiedot saadaan käyttöön. Tunnettuahan on, että päällysveden ja alusveden tilavuuksien suhdetta pidetään varsin tärkeänä seikkana alusveden laatua ajatellen (vrt. Järnefelt 1958). Mortimer (1971) on puolestaan korostanut kunkin syvänteen valuma-alueen koon merkitystä. Käsillä olevassa tutkimuksessa onkin, eri altaiden morfologiaa koskevien tietojen vielä puuttuessa, pysytelty allasryhmien puitteissa.

Tämä tutkimus perustuu edellä sanotussa tarkoituksessa kerättyyn aineistoon. Suoritetulla aineiston käsittelyllä on haluttu saada selville veden laatua kuvaavien muuttujien pitoisuuksien regionaaliset ja vertikaaliset erot sekä suorittaa myös vertailu järvien ja virtaavien vesien välillä (koko havaintoajan tarkastelu). Tarkoituksena on myös ollut selvittää, onko tämän havaintopaikkaryhmiä koskevan tarkastelun avulla nähtävissä veden laadun muuttumista osoittavia seikkoja (vuosittainen tarkastelu). Edelleen on tutkimuksella pyritty valottamaan alusve-

den rikastumistapahtumaa eli eräiden aineiden kasautumista alusveteen. Vastaavasti tarkastellaan myös pintaveden väkeväytymistä.

Aineiston käsittelyllä on vielä haluttu saada selville parametrien väliset lineaariset yhteydet eri vesikerroksissa ja pohjassa sekä myös alusveden ja pohjan välillä (korrelaatiot). Erityisesti on haluttu tarkastella veden laadun rakennetta alkuperäisistä muuttujista muodostettujen uusien mittareiden faktorien avulla.

### 1.3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

Vuosina 1965-1970 kerätty tutkimusaineisto tarkistettiin ennen laskentaa mm. tietokoneella, jolle annetut virherajat on esitetty liitteessä 3. Tätä tutkimusta varten tai jo sitä ennen suoritettujen tulosten karsimisen takia aineisto on epätäydellinen.

Havaintoaineistosta laskettiin veden laatua ilmentäville muuttujille syvyysvyöhykkeittäin keskiarvot, -hajonnat ja ääriarvot vesistöryhmittäin ja koko aineistosta sekä koko havaintoajalta että vuosittain. Laskentaa suoritettiin myös havaintopaikkojen syvyyden mukaan ryhmitelystä aineistosta: syvyys  $>20$  m ja  $<20$  m (taulukko 2). Tulokset on, ääri- ja vuosi-arvoja lukuunottamatta, esitetty karttapiirroksina (kuvat 2-53). Pohjaa koskevien havaintojen tuloksista laskettiin muuttujien keskiarvot vuosilta 1967 ja 1969 vesistöryhmittäin (kuvat 54-55).

Alusveden rikastuminen mitattiin syvyysvyöhykkeiden 2h-1 ja 5 m keskimääräisten pitoisuuksien erotuksena. Pintaveden väkeväytyminen ilmenee vastaavasti 1 m ja 5 m pitoisuuksien erotuksena.

Pintavettä ja päällysvettä, päällysvettä ja alusvettä sekä alusvettä ja pohjaa koskevat korrelaatiomatriisit on esitetty liitteinä 4, 5 ja 6 olevissa taulukoissa. Samoissa liitteissä ovat myös havaintojen määriä koskevat tiedot, joista kertoimien merkitsevyys on määritettävissä.

Korrelaatiomatriiseihin perustuvan faktoroinnin tulokset on esitetty, edelleen syvyysvyöhykkeittäin, rotatoituina matriiseina taulukoissa 3-6. Keskiveden (h) keskimääräiseen laatuun perustuvan ryhmittelyanalyysin tulos käy ilmi kuvista 56-69 ja taulukosta 8.

## 2. KESKIARVOT JA -HAJONNAT SEKÄ KORRELAATIOT

### 2.1 KOKO MAA

Järvisyvänteiden veden keskimääräisestä laadusta lopputalvella koko maassa saadaan käsitys taulukosta 1. Siitä käyvät lisäksi ilmi vastaavat tiedot veden laadusta virtahavaintopaikoilla

Taulukko 1. Veden keskimääräinen laatu maaliskuussa.  
 Table 1. Average water quality in March.

		Syvännelävaintopaikat Lake main deeps				Virtahävaintopaikat Running waters	
		1965-1970				1962-1968	
Syvyystaso Depth level		1 m	5 m	h <sup>x)</sup>	2h-1	1 m	
Näytteen syv. Sampling depth	m	1	5	19	35	1	
Lämpötila Temperature	°C	0,5	1,2	2,2	3,2	0,4	
Happi Oxygen	%	83	81	70	37	77	
Hiilidioks. Carbon dioxide	mg/l	5	5	7	14	-	
Kiintoaine Susp. solids	mg/l	1,6	1,3	1,8	6,0	10,0	
Johtokyky ( $\mathcal{H}_{18}$ ) Conductivity	$\mu S$	46	45	50	60	79	
Alkalinit. Alkalinity	mval/l	0,17	0,16	0,18	0,29	0,29	
pH pH		6,6	6,6	6,5	6,4	6,6	
Väri Colour	mg/l Pt	49	45	48	89	83	
KMnO <sub>4</sub> -kul. KMnO <sub>4</sub> cons.	mg/l KMnO <sub>4</sub>	42	41	48	55	50	
Kok. typi Total nitrogen	mg/l N	0,5	0,5	0,5	0,8	0,9	
Kok. fosfori Total phosphorus	$\gamma$ /l P	19	16	28	75	72	
Kok. rikki Total sulfur	mg/l S	3,1	3,2	3,6	3,6	4,4	
Kalium Potassium	mg/l	1,2	1,2	1,2	1,3	1,8	
Kalsium Calcium	mg/l	4,2	4,2	4,7	5,2	6,4	
Natrium Sodium	mg/l	2,7	2,7	3,1	3,4	6,0	
Magnesium Magnesium	mg/l	1,5	1,4	1,5	1,7	2,2	
Kloridi Chloride	mg/l	3,6	3,4	3,8	4,2	7,3	
Rauta Iron	mg/l	0,3	0,2	0,3	1,8	1,1	
Pii Silicon	mg/l SiO <sub>2</sub>	2,9	2,7	3,0	4,6	-	
xx)							
O <sub>2</sub> $\geq 70$	%	60					
O <sub>2</sub> $\geq 30$	%	89					
O <sub>2</sub> $\geq 10$	%	94					

xx) Sen vesipatsaan paksuus %:na koko syvyydestä,  
 jossa hapen kyll. -% on  $\geq 70$   
 The depth of that water mass where the  
 oxygen saturation percentage is  $\geq 70$   
 shown as a percentage of the total depth

x) 2 h = koko syvyys  
 2 h = total depth

(Laaksonen 1970). Eri syvyysvyöhykkeissä havaituista pitoisuuksista voidaan todeta käänteisen lämpötilakerrostuneisuuden ohella mm. seuraavaa:

- Veden laatu maaliskuussa 1 m syvyydessä poikkeaa lämpötilaa lukuunottamatta keskimäärin varsin vähän 5 m syvyydessä havaitusta. Pitoisuudet eivät kokonaisriikkiä lukuunottamatta ole päällysvedessä suurempia kuin pintavedessä, vaan usein hieman pienempiä.

- Vesipatsaan keskikohdalla (h) on lämpötilassa havaittavissa jo selvä nousu. Pitoisuuksien suureneminen on kymmenen prosentin luokkaa, kuten happipitoisuuden pieneneminenkin.

Poikkeuksen tekee kuitenkin kokonaisfosforin pitoisuuden muihin verrattuna moninkertainen kasvu. Tämä seikka ansaitsee huomiota, koska se edistää keväisen planktonituotannon nopeaa liikkeellelähtöä ennen varsinaista täyskiertoa. Myös kiintoaine-pitoisuuden sekä  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen kasvu on esim. värissä havaittavaa selvästi suurempi. Järviältäiden keskiveden keskimäärin 30 prosentin hapen vajuus maaliskuussa tulkoon myös todetuksi.

- Syvänteiden alusvedessä havaittava rikastuminen on tosiasia, joka osoittaa pohjalietteen tapahtuneen varastoitumisen heikentyneen oleellisesti (mm. Ohle 1955). Niinpä pohjan läheisestä vedestä on happi vähentynyt keskimäärin alle puoleen siitä, mitä se on pintavedessä ja sen vesipatsaan paksuus, jossa hapen pitoisuus on <10 % kyllästysarvosta, on kuusi prosenttia koko syvyydestä. Perustuotannon kannalta tärkeän fosforin (vrt. Vollenweider 1970) palautuminen raudan ohella takaisin kiertoon on tästä seurauksena. Rikastumistapahtumassa näyttävät meillä olevan osallisina hapen ja hiilidioksidin ohella ensi sijassa rauta ja fosfori sekä suodattamalla määritetty, tulkinnan varainen "kiintoaine". Vesistöjemme veden keskimääräisestä talvisesta laadusta huomataan saatavan varsin erilainen kuva riippuen siitä tarkastellaanko ns. virtaavia vesiä (Laaksonen 1970) vaiko järviältäaita, mistä rannikon jokien voimakkaat ainelataukset puuttuvat. Sisämaan järvilähtäisillä alueilla erot ovatkin tuntuvasti pienemmät. Tämän selittyminen samoin kuin senkin, että suurimmat erot koko maan arvoja kuvaavassa taulukossa ovat raudan, kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuuksissa, perustuu järviältäissa tapahtuvaan sedimentoitumiseen ja yleensä aineiden siellä tapahtuvaan pidentymiseen. Havaittiinhan samojen muuttujien olevan päätekijöinä myös rikastumistapahtumassa. Vähäisimmät ovat erot pH-arvoissa sekä hapen ja orgaanisen aineksen pitoisuuksissa. Taulukon perusteella on todettava, että virtaavien vesien keskimääräinen maaliskuinen laatu muistuttaa monessa suhteessa syvänteissä olevaa rikastunutta alusvettä.

Syvännenhavaintopaikoilta saadut tulokset on ryhmitelty havaintopaikkojen syvyyden mukaan:

>20 ja <20 metriä syviin paikkoihin. Näistä jälkimmäisiä oli vuonna 1970 runsas neljännes eli 41. Havaintopaikkojen syvyyden merkitystä tulosten arviointiin vaikeuttaa kuitenkin tutkimukseen sisältyvien matalien järvien sijoittuminen pääosalta rannikolle ja Pohjois-Suomeen. Tämä käy selvästi ilmi elektrolyyttien pitoisuuksia (taulukko 2) tarkasteltaessa. Järvi-Suomesta ei matalia järviältäaita ole päässyt pysyvästi havaittavien rajoitettuun joukkoon siitä syystä, että syvemmille järville, joita lähes aina on ollut ko. reittivesissä sopivasti sijoittuneina, on annettu etusija (kuva 3). Liitteinä (4 ja 5) olevista korrelaatiotaulukoista havaitaan kokonaissyvyydellä olevan varsin heikot yhteydet muihin muuttujiin. Selvästi suurin ( , 27) on kokonaissyvyyden korrelaatio sen vesikerroksen paksuuteen, jossa hapen kyllästys on >70 %. Taulukosta 2 voidaan edellä sanottu tietäen huomata seuraavaa:

Suurista syvyyseroista huolimatta ei keskimääräisissä lämpötiloissa ole sanottavia eroja.

Ryhmittelyn matalat vedet sisältävät runsaammin elektrolyyttejä ja ravinteita ja ovat myös

Taulukko 2. Veden keskimääräinen laatu havaintopaikoilla, joiden syvyys on  
 Table 2. Average water quality at the observation stations whose total depth is

		≥ 20 m				< 20 m			
Syvyystaso Depth level		1 m	5 m	h	2h-1	1 m	5 m	h	2h-1
Näytteen syv. Sampling depth	m	1	5	21	41	1	5	7	11
Lämpötila Temperature	°C	0,5	1,2	2,2	3,2	0,5	1,5	2,2	3,0
Happi Oxygen	%	84	82	72	35	79	74	58	41
Hiilidioks. Carbon dioxide	mg/l	4	4	7	14	7	7	10	17
Kiintoaine Susp. solids	mg/l	1,4	1,3	1,6	6,0	2,2	1,5	2,9	6,1
Johtokyky (Σ <sub>18</sub> ) Conductivity	μS	43	43	47	55	55	58	67	78
Alkalinit. Alkalinity	mval/l	0,15	0,15	0,16	0,27	0,23	0,21	0,29	0,35
pH pH		6,5	6,6	6,5	6,4	6,6	6,6	6,5	6,4
Väri Colour	mg/l Pt	46	45	47	88	62	44	52	92
KMnO <sub>4</sub> -kul. KMnO <sub>4</sub> cons.	mg/l KMnO <sub>4</sub>	42	42	50	56	44	40	40	53
Kok. typpi Total nitrogen	mg/l N	0,5	0,4	0,5	0,8	0,6	0,5	0,6	0,9
Kok. fosfori Total phosphorus	γ/l P	16	16	24	73	31	20	51	80
Kok. rikki Total sulfur	mg/l S	3,0	3,1	3,5	3,3	3,5	4,4	4,5	4,8
Kalium Potassium	mg/l	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,3	1,5	1,6
Kalsium Calcium	mg/l	3,9	4,0	4,3	4,8	5,3	5,9	6,7	6,8
Natrium Sodium	mg/l	2,6	2,6	3,0	3,2	3,2	3,5	3,8	4,4
Magnesium Magnesium	mg/l	1,3	1,3	1,4	1,5	1,9	1,9	2,2	2,4
Kloridi Chloride	mg/l	3,3	3,3	3,6	3,8	4,5	4,0	4,9	5,6
Rauta Iron	mg/l	0,2	0,2	0,3	1,8	0,4	0,3	0,5	1,6
Pii Silicon	mg/l SiO <sub>2</sub>	2,7	2,6	2,8	4,4	3,6	3,2	4,1	5,3
O <sub>2</sub> ≥ 70	%	64				45			
O <sub>2</sub> ≥ 30	%	91				84			
O <sub>2</sub> ≥ 10	%	95				92			

jonkin verran vähähappisempia kuin syvät vedet. Tämä ei kuitenkaan koske niinkään pohjan läheistä vettä, mikä johtuu epäilemättä osittain siitä, että ravinteiden, värin, raudan ja "kiintoaineen" rikastuminen  $\geq 20$  m ryhmässä alusveteen on selvästi voimakkaampaa.

- Mielenkiintoinen on kokonaisrikin kerrostuneisuus: Maksimi ei ole alusvedessä  $\geq 20$  m ryhmässä. Kasvanut syvyys hidastanee rikin poikkeuksellista sedimentaatiota ja toisaalta pohjan vaikutus näyttää vähäiseltä. - Päinvastainen ilmiö voidaan panna merkille  $< 20$  m ryhmässä: Edellä mainitut muuttujat sekä kloridi (ei natrium) näyttävät täällä selvemmin väkeväytyvän pintaveteen.

Sanotun perusteella on ilmeistä, että järviemme "dynaamisen laatukomponentin" muodostavat ennen muita parametrejä rauta ja fosfori sekä happi ja hiilidioksidi.

## 2.2 MUUTTUJARYHMÄT

Muuttujien pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty karttapiirroksissa siten, että koko maata tarkoittavat arvot ovat vasemmalla, 1 m ja 5 m syvyyttä koskevat arvot ovat viivan yläpuolella, vesipatsaan keskikohdasta (h) ja 1 metri pohjan yläpuolelta (2h-1) ehdyt havainnot taas viivan alapuolella. Kolmen päävesistön osavesistöjä koskevat tiedot ovat piirroksissa oikealla.

Tulosten esittämisjärjestys seurailee virtahavaintopaikkoja koskevassa esityksessä (Laaksonen 1970) noudatettua. Tähän on päädytty paitsi vertailun helpottamiseksi myös siksi, että veden laatu em. eroista huolimatta koostuu samoista perusosista, faktoreista. Tar kastelun kohde kuten sen perustana oleva aineistokin on käsillä olevassa tutkimuksessa niin laaja (65 771 analyysiä ja 875 havaintopaikoilla käyntiä), että keskimääräisten pitoisuuksien ja nimenomaan hajontojen osalta on, tulosten kuvien avulla tapahtuneen havainnollistamisen lisäksi, tyydytty lyhyehköihin toteamuksiin.

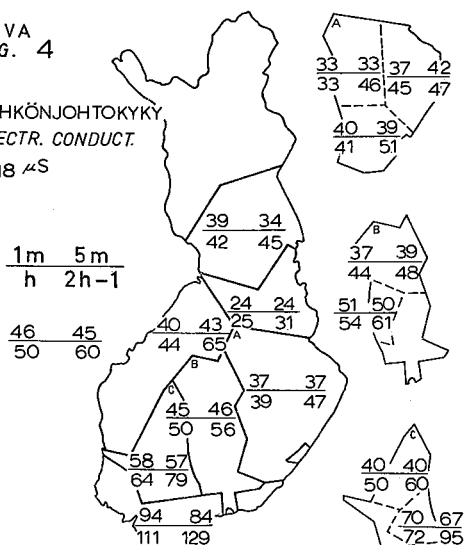
### 2.21 Elektrolyytit

Elektrolyyttien pitoisuuksia koskevasta maaliskuun keskiarvoista voidaan nähdä niiden seurailevan virtahavaintopaikkojen tutkimuksessa havaittua suuntaa: Pitoisuudet pienenevät etelästä pohjoiseen ja lännestä itään. Vesistöryhmien väliset erot kuten pitoisuudetkin ovat järivistä tehtyjen havaintojen perusteella kuitenkin vähäisempiä, rikastuneita alusvesiä lukuunottamatta. Poikkeuksena on Vuoksen vesistö, jossa (sen itä- ja eteläosissa) järvi-havaintopaikkojen päänlyysvedessä elektrolyyttipitoisuus on keskimäärin suurempi kuin virtahavaintopaikoilla, mikä puolestaan aiheutuu lähinnä kalsiumin, rikin ja magnesiumin pitoisuuksista.

Elektrolyyttien pitoisuuksia esittävistä kuvista 4-17 voidaan edelleen todeta mm., että

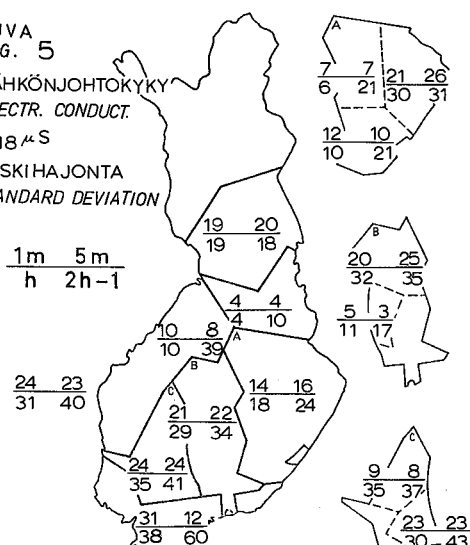
KUVA  
FIG. 4

SÄHKÖNJOHTOKYKY  
ELECTR. CONDUCT.  
 $\sigma_{18} \mu S$



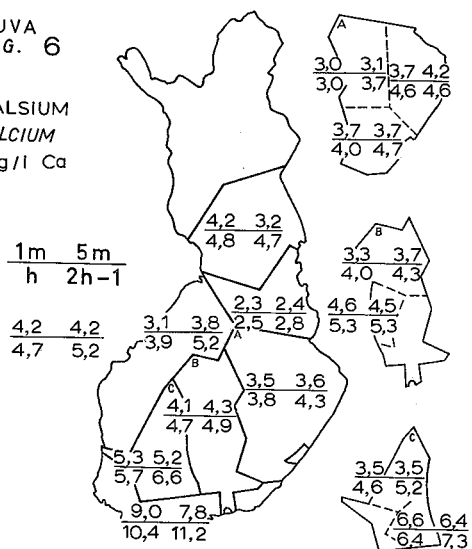
KUVA  
FIG. 5

SÄHKÖNJOHTOKYKY  
ELECTR. CONDUCT.  
 $\sigma_{18} \mu S$   
KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



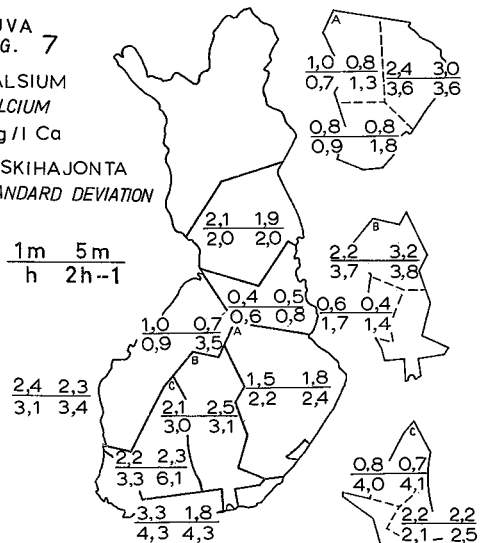
KUVA  
FIG. 6

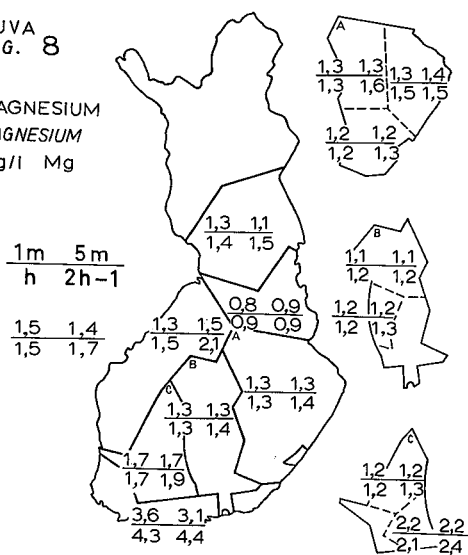
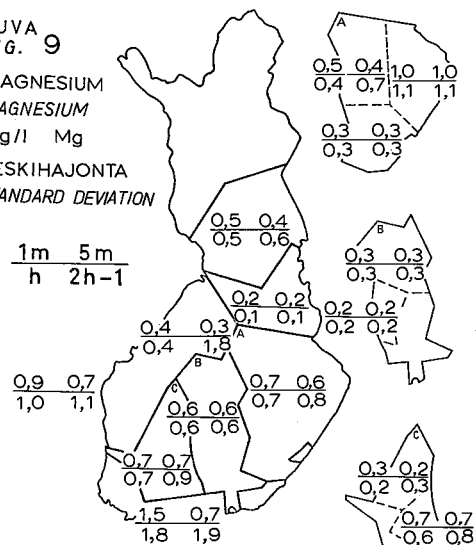
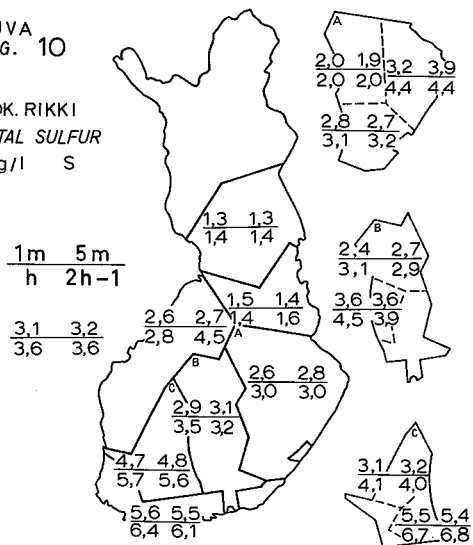
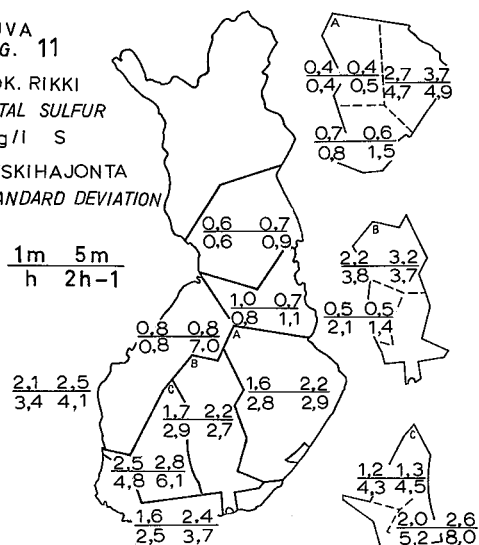
KALSIUM  
CALCIUM  
mg/l Ca



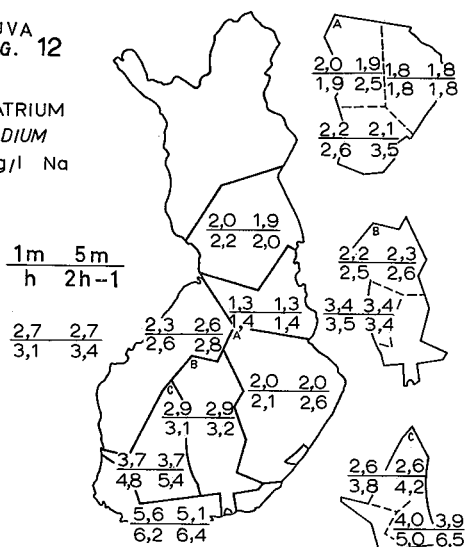
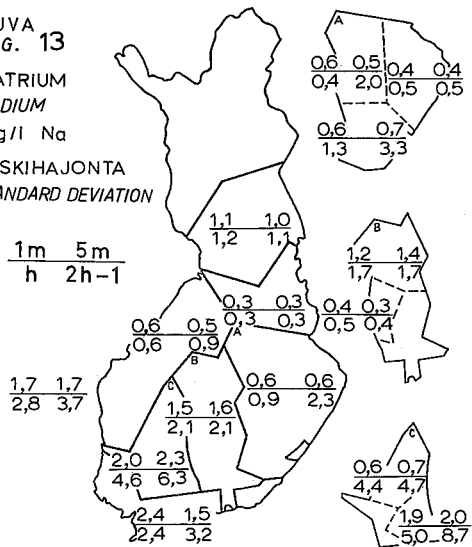
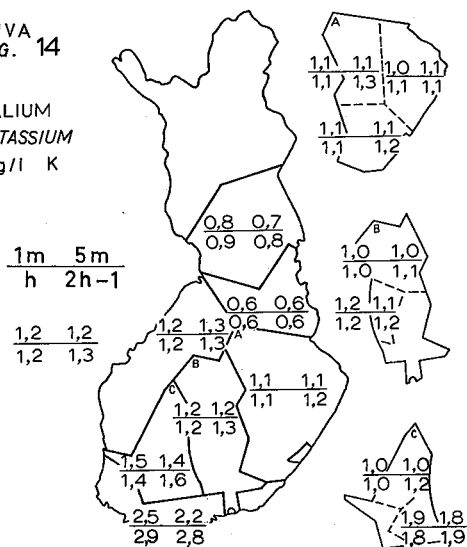
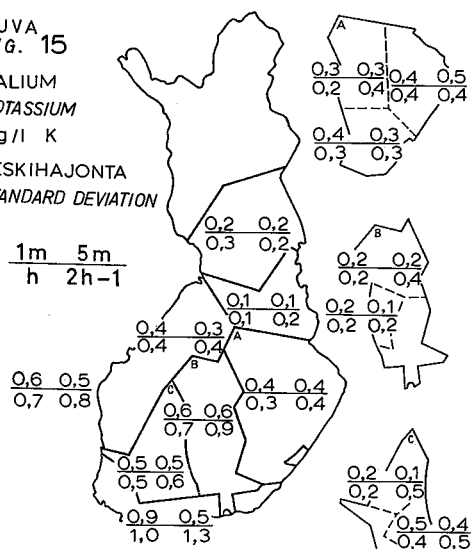
KUVA  
FIG. 7

KALSIUM  
CALCIUM  
mg/l Ca  
KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



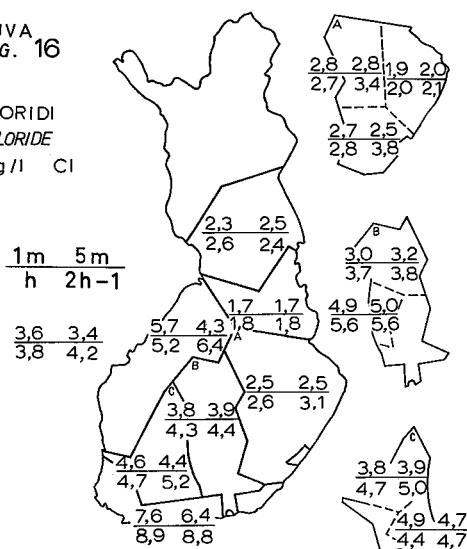
KUVA  
FIG. 8MAGNESIUM  
MAGNESIUM  
mg/l MgKUVA  
FIG. 9MAGNESIUM  
MAGNESIUM  
mg/l Mg  
KESKIAHAJONTA  
STANDARD DEVIATIONKUVA  
FIG. 10KOK. RIKKI  
TOTAL SULFUR  
mg/l SKUVA  
FIG. 11KOK. RIKKI  
TOTAL SULFUR  
mg/l S  
KESKIAHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



KUVA  
FIG. 12NATRIUM  
SODIUM  
mg/l NaKUVA  
FIG. 13NATRIUM  
SODIUM  
mg/l NaKESKIHÄJONTA  
STANDARD DEVIATIONKUVA  
FIG. 14KALIUM  
POTASSIUM  
mg/l KKUVA  
FIG. 15KALIUM  
POTASSIUM  
mg/l KKESKIHÄJONTA  
STANDARD DEVIATION

KUVA  
FIG. 16

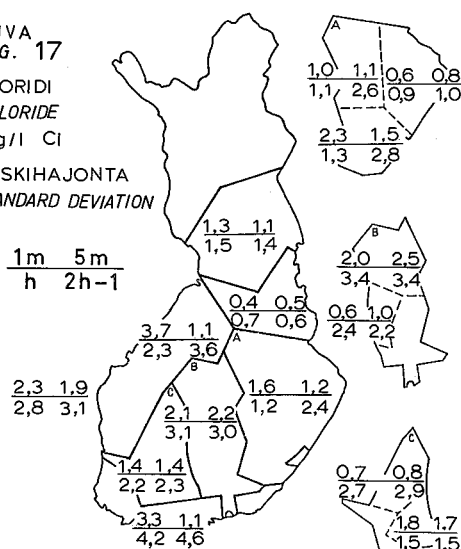
KLORIDI  
CHLORIDE  
mg/l Cl



KUVA  
FIG. 17

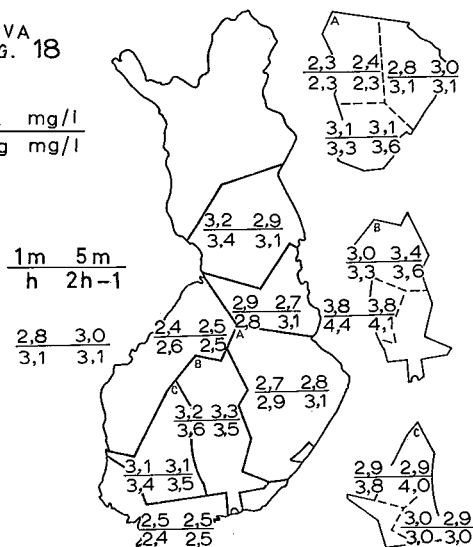
KLORIDI  
CHLORIDE  
mg/l Cl

KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



KUVA  
FIG. 18

Ca mg/l  
Mg mg/l



Vuoksen vesistön itäosissa kalsiumin ja riikin pitoisuudet ovat vesistön muihin osiin verrattuna suurehkot, päinvastoin kuin kloridin pitoisuus. Kokemäenjoen vesistön eteläinen haara on varsin runsaselektrolyyttinen pohjoiseen haaraan verrattuna, joka pitoisuuksiltaan muistuttaakin Kymijoen vesistöä. Eteläinen haara on kuitenkin vain kokonaisrikin suhteen alapuolisen rannikon ta-soa.

Vuoksen ja Kymijoen vesistöt sekä Kokemäenjoen vesistön pohjoinen haara ja Pohjanmaan järvet eivät juuri eroa toisistaan magnesiumin ja kaliumin pitoisuuksien suhteen. Sen sijaan kloridipitoisuuksien väliset erot ovat jo selviä. Päijänteen runsaskloridisuus on huomion arvoinen.

Järvaluetta sekä etelä- ja lounaisrannikkoa koskevista havainnoista huomataan kokonaisrikin maksimipitoisuuden olevan usein poh-

jan läheisen vesikerroksen yläpuolella. Rikin sedimentoituminen onkin ilmeisesti muista poikkeava (hidas) tapahtuma. Havaittu osoittanee myös, että pohjalietteen merkitys rikin palauttajana on vähäinen. Jätevesien kulkeutumisella lienee myös osuutta asiaan Päijänteellä mm. kalsiumin kerrostuneisuudesta päätellen.

Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksien suhdetta esittävästä kuvasta (18) huomataan, että Ca : Mg kasvaa pohjaa kohti ei kuitenkaan rannikolla, jossa se on yleensäkin pieni sisämaahan verrattuna, samoin kuin Kokemäenjoen vesistön eteläisessä haarassa ja Lapissa. Korkeimmat suhdeluvut ovat Päijänteellä (keskivedessä). Vuoksen vesistön pohjoisen haaran havaitaan vielä erottuvan muusta vesistöstä. Järvien pinta- ja päänlyysvedessä Ca : Mg on pienempi kuin virtaavissa vesissä. Saostuminen kohdistuu siten voimakkaampana kalsiumiin kuten mm. Ohle (1955) on esittänyt.

Alusveden rikastumisesta ja pintaveden väkevoitymisestä on jo edellä ollut puhe. Nämä on esitetty (kuvat 19-22) kertoimien avulla. Alusveden rikastumiskertoimella ymmärretään tässä sitä lukua, jolla päänlyysveden (5 m) pitoisuus on kerrottava, että saadaan alusveden (2h-1) ja päänlyysveden pitoisuuksien erotus eli rikastuminen. Vastaavasti pintaveden väkevoitymiskerroin on se luku, jolla päänlyysveden (5 m) pitoisuus on kerrottava, että saadaan pintaveden (1 m) ja päänlyysveden pitoisuuksien erotus eli väkevoityminen.

Elektrolyyttien rikastumisesta voidaan todeta, että se on yleensä hydrokarbonaatteja lukuun ottamatta vähäistä. Matalahkoilla rannikon ja Lapin järvillä näyttää kuitenkin alkaliniteetin ohella myös mm. magnesiumin, kloridin ja kalsiumin rikastuminen olevan hieman voimakkaampaa kuin muilla alueilla. Molemmat edellä mainitut seikat näyttäisivät korostavan pohjan vaikutusta tapahtumassa. Todettakoon edelleen rikin rikastuminen odotetusti Pohjanmaalla (alunamaat) ja natriumin Vuoksen vesistön eteläosassa ja Kokemäenjoen vesistössä (teollisuus).

Pohjoisimmalla alueella havaittava erityinen kalsiumin, natriumin, kaliumin ja kloridin kerrostuneisuus näyttää puolestaan aiheutuvan varsin erilaisista seikoista, mm. voimakkaasti säännösteltyjen, havaintopaikkojen vähälukuisuudesta (8) ja mataluudesta. Matalissa vesissä 5 m syvyys on varsin usein edustanut jo keskisyvyyttä tai suorastaan pohjan läheistä vettä. Edellä sanottu onkin aiheuttanut sen, että tulosten tarkastelu yleensä siellä, kuten myös vähäjärvisillä etelä- ja lounaisrannikolla sekä Pohjanmaalla on jätetty Järvi-Suomea tuntuvasti vähemmälle.

Myös pintaveden väkevoitymistä elektrolyyteillä näyttää kertoimien perusteella ilmenevän ensi sijassa muualla kuin verraten syvien järvien luonnehtimissa Järvi-Suomen vesistöissä, missä elektrolyyttien pitoisuuksien erot ylemmissä vesikerroksissa ovat vähäisiä. Ilmeistä onkin, että täällä laimenee jäätymisen aiheuttama veden väkevoityminen nopeammin kuin rannikolla, koska sisämaan virtaavissa vesissä on järviin verrattuna myös suhteellisesti vähemmän elektrolyyttejä kuin rannikolla.

Muuttujien korrelaatioihin perustuvan ryhmittelyn perusteella oli odotettavissa, että ainakin

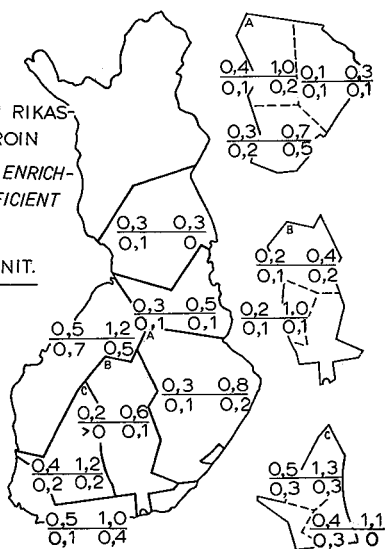
KUVA  
FIG. 19

ALUSVEDEN RIKAS-  
TUMISKERROIN  
HYPOLIMNIC ENRICH-  
MENT COEFFICIENT

$\mu_{18}$  ALKALINIT.

KOK. S Cl  
TOT. S Cl

0,3 0,8  
0,1 0,2

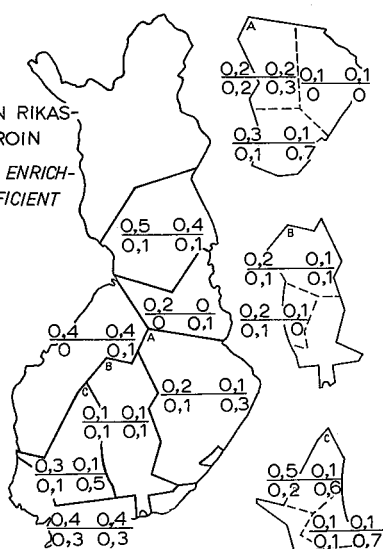


KUVA  
FIG. 20

ALUSVEDEN RIKAS-  
TUMISKERROIN  
HYPOLIMNIC ENRICH-  
MENT COEFFICIENT

Ca Mg  
K Na

0,2 0,2  
0,1 0,3



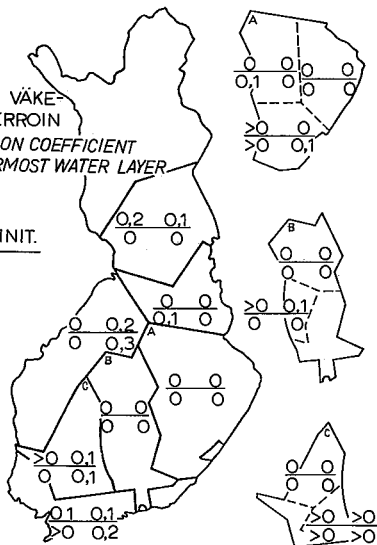
KUVA  
FIG. 21

PINTAVEDEN VÄKE-  
VÖITYMISKERROIN  
CONCENTRATION COEFFICIENT  
IN THE UPPERMOST WATER LAYER

$\mu_{18}$  ALKALINIT.

KOK. S Cl  
TOT. S Cl

>0 0,1  
0 0,1

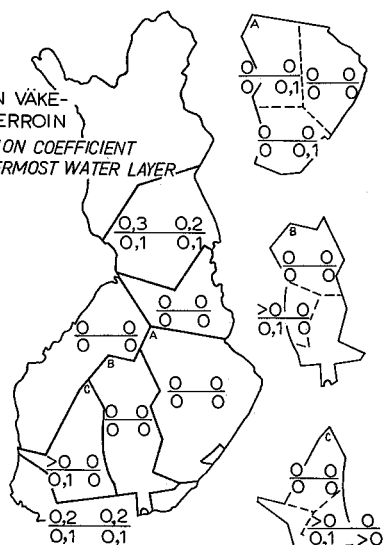


KUVA  
FIG. 22

PINTAVEDEN VÄKE-  
VÖITYMISKERROIN  
CONCENTRATION COEFFICIENT  
IN THE UPPERMOST WATER LAYER

Ca Mg  
K Na

0 0,1  
0 0



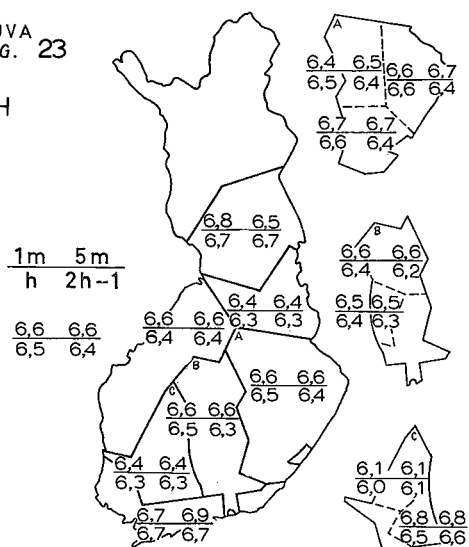
päälyysvedessä elektrolyyttien keskinäiset yhteydet ovat vahvoja. Niinpä niiden korrelaatiot johtokykyyn vaihtelevat niin päälyys- kuin alusvedessäkin ,59 ja ,88 välillä. Kokonaisrikin suuret kertoimet (,85 ja ,73) osoittavat sen mineraaliluonnetta, ja vastaavasti kertoimen pieneneminen alusvedessä sekä toisaalta yhteyden saman aikainen voimistuminen  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen rikin orgaanisen komponentin kasvua alusvedessä. Rikin korrelaatio kiintoainee seen kuten ravinteisiin on täällä kuitenkin elektrolyyteistä vähäpätöisin. Edelleen voidaan havaita, että kalium ja magnesium korreloivat varsinkin alusvedessä keskenään vahvemmin kuin muihin elektrolyyttimuuttujiin. Happipitoisuuteen elektrolyyttien korrelaatiot ovat yleensäkin heikot. Todettakoon kuitenkin, että päälyysvedessä on natriumilla (-,43) ja kloridilla (-,36) selvästi muita paremmat yhteydet; alusvedessä kloridilla (-,39) ja kalsiumilla (-,38) Suhtautumisessa veden väriin ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen poikkeavat kalium ja magnesium edelleen muista: Korrelaatiokertoimet ovat selvästi muita vähäpätöisemmät. Sen sijaan muiden korrelaatiot  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen erityisesti alusvedessä ovat jo huomionarvoisia: Suurimmat ovat kalsiumilla (,62) ja kloridilla (,60), mikä viitanee luonnontilasta loitontumiseen - Molempia on ihmisen toimesta levitetty viime vuosikymmeninä runsain määrin ympäristöön - Kokonaistypen ja -fosforin korrelaatioista elektrolyytteihin todettakoon vielä, että päälyysvedessä vahvimmat yhteydet ovat edellisellä magnesiumiin (,57) ja jälkimmäisellä natriumiin (,48), mutta alusvedessä kloridiin (,50 ja ,41). Lopuksi voidaan vielä panna merkiksi että vedenkorkeudella on yleensä perin vähäinen korrelaatio eri muuttujiin. Natriumilla näyttää kuitenkin olevan hieman muita paremmat yhteydet siihen sekä päälyys- että alusvedessä (,17 ja ,22).

## 2.22 pH ja alkaliniteetti

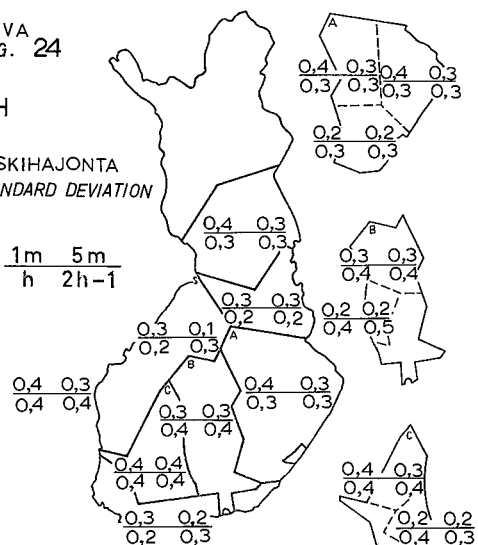
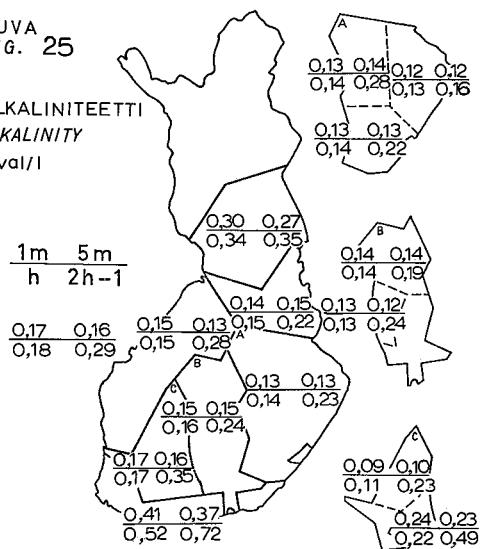
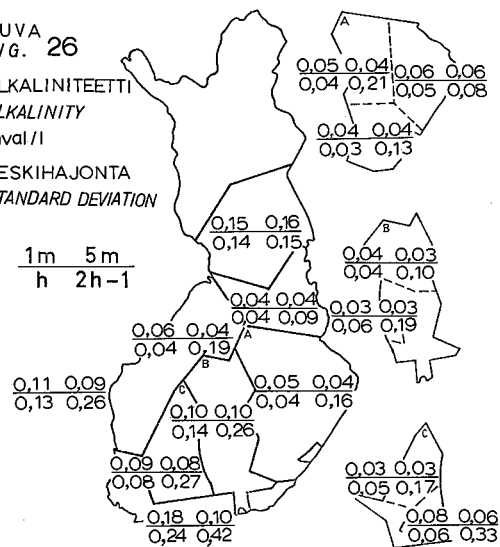
Vesistöjen ja vesistöryhmien väliset erot veden happamuudessa ovat odotetusti vähäisiä. Vain eteläisellä rannikolla ja Lapissa sekä Kokemäenjoen vesistössä, eritoten sen pohjoisessa haarassa, pH-arvot, kuten ylempien vesikerrosten alkaliniteetitkin, poikkeavat selvästi muista (kuvat 23-26). Myöskään virtaavista vesistä tehtyihin havaintoihin verrattuna kumpaakin muuttujaa koskevat erot ovat vähäpätöisiä. Sen sijaan hydrokarbonaattien rikastuminen alusveteen (kuva 19) on jo sellaisenaan merkittävä nimenomaan varsinaisiin elektrolyytteihin verrattuna. Erot alusveden pitoisuuksissa eri vesistöryhmien välillä ovat huomionarvoisia: Mortimerin (1971) mukaan pohjan pinta luovuttaa kierron seurauksena tasalämpöiseen siihen kosketuksessa olevaan veteen lämpöä, jolloin veden tiheys kasvaa. Tämä saa puolestaan aikaan kaltevuussuunnassa tapahtuvan virtailun. Sedimentissä tapahtuva orgaanisen aineksen hajoitus kuluttaa happea, mutta vapauttaa samalla hiilidioksidia ja vetyioneja, jotka taas irroittavat pinnoille adsorboituneita kationeja. Tällöin alkaliniteetti (ja johtokyky) suurenee ekvivalentissa suhteessa hapen kulumiseen. Vedessä tapahtuva hajoitus eroaa edellisestä siinä, että haponsitomiskyky ei lisäännä hapen kulumista vastaavasti. Tällä aineistolla tehtyt, alkaliniteetin rikastumiseen perustuvat laskelmat pohjalietteen osuudesta alusveden happivajaukseen antoivat tulokseksi seuraavat prosenttiluvut: Vuoksen vesistö 56, Kymijoen 53 ja Kokemäenjoen 90. - Windemerejärven sedimentin hapenkulutuksen laskettiin aiheuttaneen 11-45 prosenttia kokonaisvajauksesta; Torniojärven sedimentti taas oli lähes

KUVA  
FIG. 23

pH

KUVA  
FIG. 24

pH

KESKIHAIJONTA  
STANDARD DEVIATIONKUVA  
FIG. 25ALKALINITEETTI  
ALKALINITY  
mval/lKUVA  
FIG. 26ALKALINITEETTI  
ALKALINITY  
mval/lKESKIHAIJONTA  
STANDARD DEVIATION

yksinomaisena syvänteiden alusveden hapenvajauksen aiheuttajana (Mortimer 1971). - Edellä sanottu ei kuitenkaan näytä, korrelaatiokertoimesta (-,55) päätellen, olevan täysin sovellettavissa tämän tutkimuksen tuloksiin.

Hydrokarbonaattien pitoisuuksien tuntemisen hyödyllisyyttä näyttäisi korostavan myös se, että ne alusvedessä korreloivat varsin selvästi kokonaistypen pitoisuuksiin, (kerroin ,73). Näin ollen näyttää alkaliniteettiarvon kasvu alusvedessä merkitsevän useimmiten myös kokonaistypen pitoisuuden kasvua. Muualla tehdyistä huomioista (Thomas 1969) poiketen fosforin yhteys alkaliniteettiin on meillä selvästi vähäisempi (,52). Useista muista alkaliniteetin vahvoista yhteyksistä alusvedessä mainittakoon korrelaatiot kaliumiin (,66), johtokykyyn (,65), magnesiumiin (,58), happeen (-,55) ja kiintoaineeseen (,53). Päälyysvedessä vahvimmat yhteydet ovat kaliumiin (,71) ja magnesiumiin (,67). Korrelaatiot typpeen (,29) ja fosforiin (,41) ovat paljon pienemmät ja päinvastaisessa järjestyksessä kuin alusvedessä.

pH:n korrelaatioista muihin muuttujiin voidaan sanoa, että ne ovat edellistä heikompia ja vähäisempiä. Yhteys värilliseen orgaaniseen aineeseen sekä sen hajoitukseen on ilmeinen päälyysvedessä, missä vahvimmat korrelaatiot ovat  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (-,63), väriin (-,59), happeen (,47) ja hiilidioksidiin (-,46). Alusvedessä korrelaatio  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (-,46) on selvästi muita suurempi, mutta yhteydet väriin kuten happeenkin näyttävät sen sijaan katkenneen.

## 2.23 Kiintoaine, rauta, väri ja $\text{KMnO}_4$ -kulutus

Kiintoaineen pitoisuudet poikkeavat odotetusti voimakkaimmin vastaavista virtaavista vesistä tehdyistä havainnoista. Onhan nimenomaan järvisyys veden kiintoainepitoisuuteen merkittävästi vaikuttava tekijä. Pinta- ja päälyysveden pitoisuudet eri allasryhmissä ovat lähes saman suuruisia, lukuunottamatta etelä- ja lounaisrannikkoa, jossa yleisesti tavattavan savisamennuksen säilyvyyttä talvellakin myös nyt havaitut pitoisuudet osoittanevat. Kiintoaineen pitoisuus päälyysvedessä (5 m) korreloi voimakkaimmin saman vesikerroksen värin (,80), raudan (,70), kokonaisfosforin (,63) ja kokonaistypen (,60) pitoisuuksien kanssa.

Alusvedestä suodattamalla määritetyn "kiintoaineen" usein jo voimakkaasti rikastuneissa pitoisuuksissa on huomattavia eroja myös eri vesistöryhmien ja näiden osa-alueiden välillä. Toisaalta on kuitenkin pantavissa merkille, että Vuoksen vesistön eteläosassa ja Päijänteellä alusveden keskimääräiset pitoisuudet ovat Kokemäenjoen vesistön tasoa. Alusvedestä analysoitu "kiintoaine" korreloi voimakkaimmin samojen muuttujien kanssa kuin päälyysvedessäkin.

Raudan pitoisuuksien, joiden virtaavissa vesissä tiedetään korreloivan selvästi kiintoaineen (,75) ja värin (,62) pitoisuuksiin, vähäiset erot eri järviolallasryhmien ylempien vesiker-

rosten välillä ovat rinnastettavissa kiintoainepitoisuuksissa todettuun. Sama pätee alusveden yleensä voimakkaaseen rikastumiseen ja siitä aiheutuviin merkittäviin pitoisuuseroihin nähden. - Tämä oli odotettavissa, koska nimenomaan alusveden kiintoainemäärityksessä raudan huomattavaa pidättymistä suodattimella on epäilemättä tapahtunut. - Tuloksista (kuva 29) voidaan edelleen todeta raudankin pitoisuuksien pienenevän itään ja pohjoiseen päin. Samoin näyttäisi Vuoksen ja Kymijoen vesistöjä koskevien havaintojen perusteella voitan todeta, että pinta- ja päällysveden pitoisuudet pienenevät, mutta alusveden kasvavat vesistöä alaspäin tultaessa. Tämä osoittanee ennen muuta aineiden pidättymisen pohjalietteen heikkenevän vesistöjen alaosissa.

Raudan korrelaatiot päällysvedessä (5 m) muihin muuttujiin ovat melko heikkoja: kalsiumiin ,41 ja väriin ,40 sekä kiintoaineeseen ,12 ja kokonaisfosforiin ,06. Sen sijaan raudan pitoisuudet alusvedessä korreloivat odotetusti värin (,71), kiintoaineen (,70), kokonaisfosforin (,56) ja kokonaistypen (,55) pitoisuuksien kanssa.

Raudan rikastumiskertoimista alusvedessä (kuva 35) ja väkevöitymiskertoimista päällysvedessä (kuva 36) vahvistuu mitä suurimmassa määrin käsitys raudan oleellisesta merkityksestä järvien ainetaloudessa. Tehostunutta mobilisoitumista kuvaavana yksityiskohtana huomattakoon myös raudan rikastumisen voimakas kasvu lähinnä Suur-Saimaata edustavassa Vuoksen vesistön alaosassa sekä Päijänteellä. Pintaveteen tapahtuva väkevöityminen ilmenee vuorostaan voimakkaampana vesistöjen yläosissa, jossa vesi on "nuorta". Lasketuista, mutta ei tässäenemmälti siteeratuista väkevöitymisen korrelaatioista niin pinta- kuin päällysvedenkin pitoisuuksiin on yleensä sanottava, että ne ovat eräitä elektrolyyttimuuttujia koskevia lukuun ottamatta varsin pieniä. Raudan väkevöityminen tekee kuitenkin poikkeuksen: Se korreloi selvähkösti värin (,52) sekä kalsiumin väkevöitymiseen (,44).

Tarkasteltaessa pinta- sekä päällysveden värin arvoja (kuva 31) huomataan, että virtahavaintopaikoilta saadut tulokset ovat säännöllisesti hieman suurempia myös päävesistöissä, mikä johtunee ensi sijassa lisääntyneen sameuden aiheuttamasta analyysivirheestä. Tämä ei kuitenkaan muuta käsityksiä vesistöryhmien välisistä eroista. - Nimenomaan Pohjanmaasta on kuitenkin todettava, että sitä koskevat vesistöjen latvaosien järvihavainnot eivät ole hevin verrattavissa enimmäkseen rannikon läheisiin jokivesiin. - Niinpä Vuoksen vesistön vesi on keskimäärin hieman ruskeampaa kuin Kymijoen vesistön, joka raudan ja värin läheisistä yhteyksistä huolimatta on kuitenkin edellistä rautapitoisempaa. Todettakoon myös Kokemäenjoen pohjoisen haaran runsasvärisyys (kuten rautapitoisuuskin) eteläiseen haaraan verrattuna. Päällysveden väri korreloi ensi sijassa rautaan (,81),  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (,80) ja pH:hon (-,58).

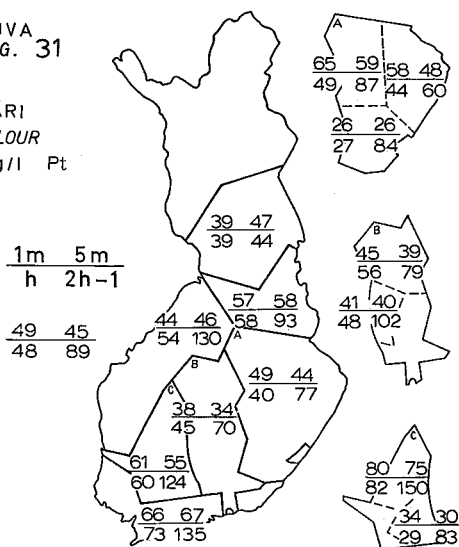
Värin rikastuminen (kuva 35) on tapahtumana ilmeisen merkityksellinen, joskaan kertoimet eivät ole aivan raudan luokkaa. Yhteys rautaan käy ilmi, paitsi useista jo rautapitoisuuden tarkastelun yhteydessä todetuista seikoista, myös keskiveden köyhtymisen samankaltaisuudesta Vuoksen vesistön läntisessä ja itäisessä haarassa sekä pohjoisimmassa vesistöryhmässä. - Vrt. myös pintaveden väkevöitymiskertoimet (kuva 36). - Sama eri-





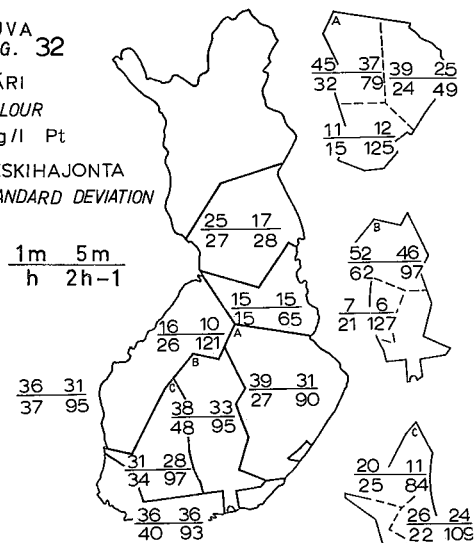
KUVA  
FIG. 31

VÄRI  
COLOUR  
mg/l Pt



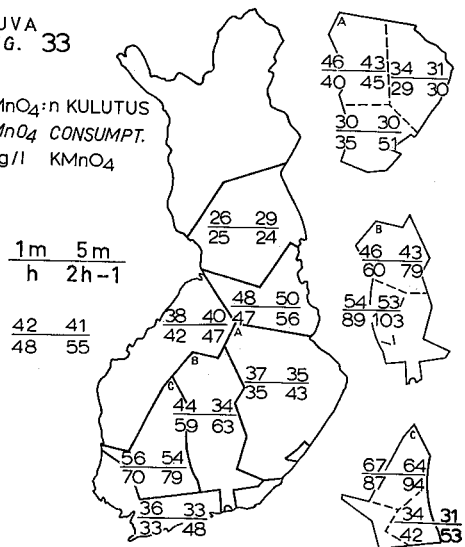
KUVA  
FIG. 32

VÄRI  
COLOUR  
mg/l Pt  
KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



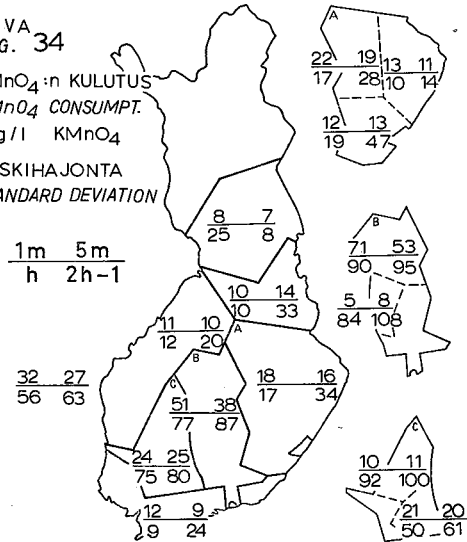
KUVA  
FIG. 33

KMnO<sub>4</sub>:n KULUTUS  
KMnO<sub>4</sub> CONSUMPT.  
mg/l KMnO<sub>4</sub>



KUVA  
FIG. 34

KMnO<sub>4</sub>:n KULUTUS  
KMnO<sub>4</sub> CONSUMPT.  
mg/l KMnO<sub>4</sub>  
KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION





Väriin korrelaatiot rikastuneessa alusvedessä poikkeavat jossain määrin edellä päällysvedessä todetuista. Suurimmat kertoimet ovat kiintoaineella (,80), raudalla (,71), kokonaisfosforilla (,63) ja kokonaistypellä (,58).  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksella se on enää vain ,54.

Kemiallisen hapenkulutuksen ( $\text{KMnO}_4$ ) vesistökohtaiset keskiarvot (kuva 33) noudattavat niin keskinäisessä järjestyksessä kuin suhteessa virtahavaintopaikoilta saatuihin tuloksiin edellä veden väristä todettua. Eroavuutena pantakoon kuitenkin merkille, että alusveden rikastuminen on oleellisesti pienempi jopa niin, että verraten puhtailla alueilla ei alusveden rikastumista näytä tapahtuvan ollenkaan ja likaantuneillakin se näyttää usein jäävän ikään kuin puolitiehen. Tämä ilmenee selvästi  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen ja värin suhteen muutoksista (kuva 37), mihin vaikuttanee mm. humuksen eri fraktioiden tässä suhteessa erilaiset reaktiot (Simm 1969; Pennanen 1970). Näin myös alusveden pitoisuudet jäävät esim. Vuoksen ja Kokemäenjoen vesistöissä pienemmiksi kuin vastaavasti virtahavaintopaikoilla. Edelleen voidaan todeta, että pohjoisimmassa vesistöryhmässä ovat niin veden väri kuin rautapitoisuuskin suurempia kuin Kymijoen vesistössä, mutta hapettuvien orgaanisten aines-ten määrä on kuitenkin huomattavasti pienempi.

Päällysveden  $\text{KMnO}_4$ -kulutusarvot korreloivat vahvimmin väriin (,78), pH:hon (-,63) ja happipitoisuuteen (-,54), mutta rautapitoisuuteen ei käytännöllisesti katsoen lainkaan (,12).

Edellä on jo ollut puhe  $\text{KMnO}_4$ -kulutusarvojen kerrostuneisuudelle ominaisista piirteistä. Se että alusveden kemiallisen hapenkulutuksen arvot korreloivat monelle taholle (nimenomaan useiden elektrolyyttien pitoisuuksiin) lähes tasavahvoina, osoittanee ihmisen toimien vaikutusta. Vahvimmat korrelaatiot ovat hiilidioksidin (,69), kalsiumin (,62) ja kloridin (,60) pitoisuuksiin. Päällysveteen verrattuna on korrelaatio väriin vastaavasti heikentynyt (,54).

## 2.24 Lämpötila, happi ja hiilidioksidi

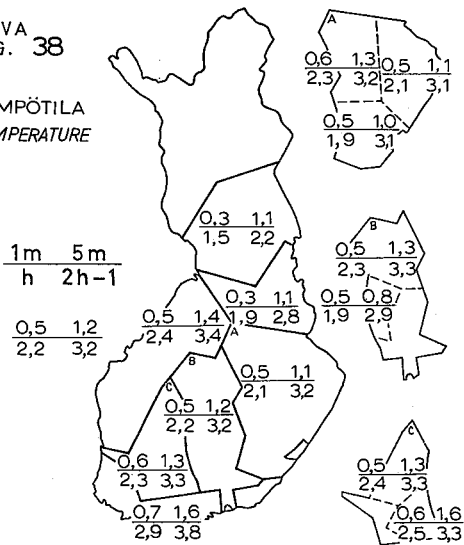
Sisävesien kerrostuneisuus on, silloin kun sitä esiintyy, tunnetusti lähes yksinomaan erilaisista lämpötiloista johtuvien tiheyserojen aiheuttama. Lämpötilat taas vaihtelevat sääoloista riippuen niin, että järviältäiden talvinen lämpötila riippuu ensi sijassa myöhäisyksyn säästä (Ryhänen 1962). Järviältäiden talvisen lämpötilan ja veden korkeuden korrelaatio on kuitenkin lähes olematon. Seuraavassa keskimääräiset vuotuiset lämpötilat Vuoksen vesistössä vesipatsaan keskikohdasta (h) mitattuina:

1965	1966	1967	1968	1969	1970
2,4	2,9	1,5	2,3	2,2	1,5

Vuotuinen vaihtelu on varsin huomattava ja peittää tarkasteltavana olevien vesistöryhmien sijainnista johtuvat, säännöllisesti pienemmät erot. Huomattavaa on, että lämpötiloilla ei juuri ole veden laatuun selviä yhteyksiä osoittavia korrelaatioita. Poikkeuksena on syksyn

KUVA  
FIG. 38

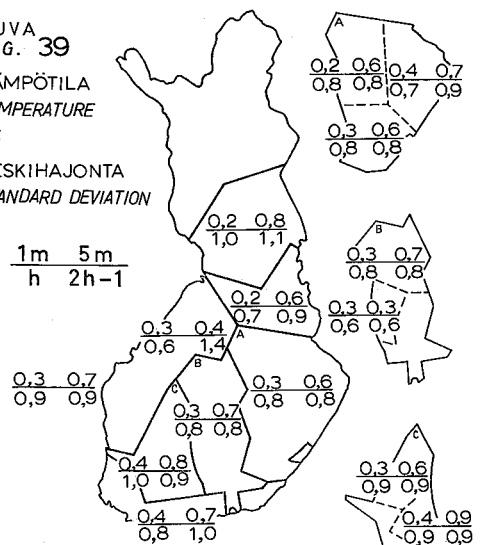
LÄMPÖTILA  
TEMPERATURE  
°C



KUVA  
FIG. 39

LÄMPÖTILA  
TEMPERATURE  
°C

KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



sääolojen merkitystä korostava, alusveden lämpötilan korrelaatio päänlyysveden lämpötilaan (,56) sekä jo tuntuvasti pienempi korrelaatio alusveden happipitoisuuteen (-,34). Todettakoon vielä, että havaintopaikan syvyydellä ei ole yhteyttä alusveden lämpötilaan. Tämä näkökohta koskee luonnollisesti vain tämän tutkimuksen piiriin kuuluneiden suuruusluokkien järviä.

Tarkasteltaessa syvännenhavaintopaikoilta maaliskuussa vuosina 1965-1970 mitattujen hapen pitoisuuksien keskiarvoja (kuva 40) havaitaan mm. seuraavaa:

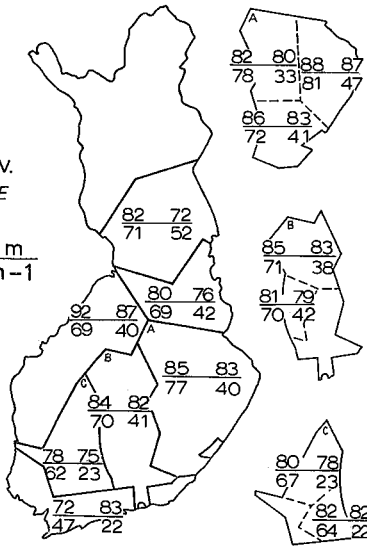
- Alusveden hapen vajoaus on kaikkialla huomattavan suuri, yleensä enemmän kuin 50 prosenttia. Tätä on pidettävä vahvistuksena niille käsityksille, joita on esitetty järviemme yleisestä pilaantumisalttiudesta (Ryhänen 1968).
- Keskimääräisessä syvänteessä on happea alle 70 prosenttia kyllästysarvosta, peräti 4/10 osassa sen paksuudesta (kuva 44).
- Suurin vajoaus (75 %) on etelä- ja lounaisrannikolla sekä Kokemäenjoen vesistössä, missä myös ympäristön paine on tunnetusti voimakas. Niinpä rannikolla onkin keskivesi (h) hapen pitoisuutensa puolesta jo lähempänä alusvettä. Muualla se on vielä selvästi päänlyysvedeksi luettavaa.
- Hapen pitoisuudet vesipatsaan keskikohdassa ilmentävät yläpuolisia tasoja selvemmin yleistä, ympäristön erilaisuudesta aiheutuvaa (etelästä pohjoiseen ja lännestä itään) muuttumisen suuntaa veden laadussa.

KUVA  
FIG. 40

HAPPI  
OXYGEN  
% KYLL. ARV.  
% SAT. VALUE

$\frac{1m}{h} \quad \frac{5m}{2h-1}$

$\frac{83}{70} \quad \frac{81}{37}$



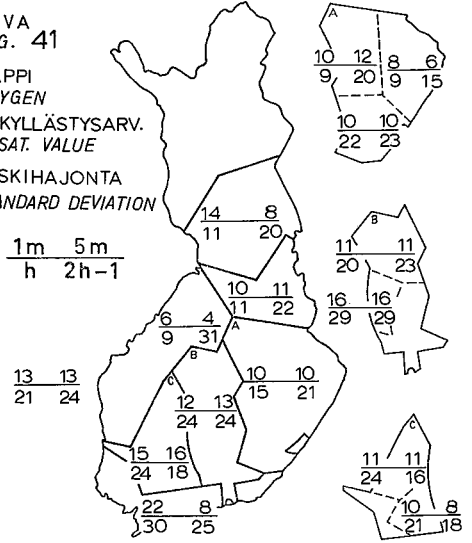
KUVA  
FIG. 41

HAPPI  
OXYGEN  
% KYLLÄSTYSARV.  
% SAT. VALUE

KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION

$\frac{1m}{h} \quad \frac{5m}{2h-1}$

$\frac{13}{21} \quad \frac{13}{24}$

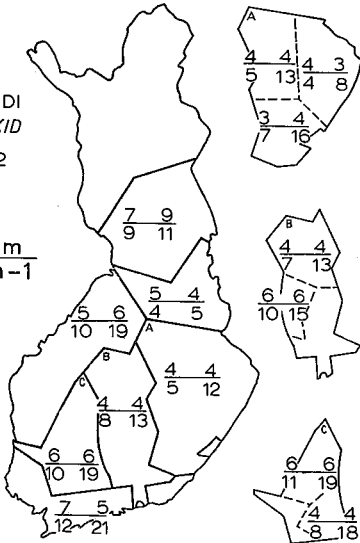


KUVA  
FIG. 42

HIILIDIOKSIDI  
CARBON DIOXID  
mg/l CO<sub>2</sub>

$\frac{1m}{h} \quad \frac{5m}{2h-1}$

$\frac{5}{7} \quad \frac{5}{14}$



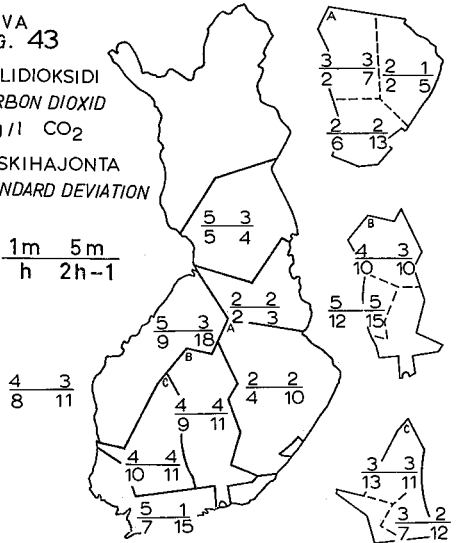
KUVA  
FIG. 43

HIILIDIOKSIDI  
CARBON DIOXID  
mg/l CO<sub>2</sub>

KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION

$\frac{1m}{h} \quad \frac{5m}{2h-1}$

$\frac{4}{8} \quad \frac{3}{11}$



KUVA  
FIG. 44

SE VESIKERROS,  
MISSÄ HAPEN KYLL.  
≤ 70 %  
≤ 30 %  
≤ 10 %

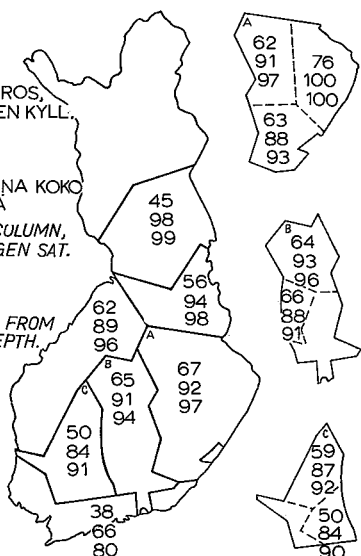
PROSENTTEINA KOKO  
SYVYYDESTÄ

THE WATER COLUMN,  
WHERE OXYGEN SAT.

≤ 70 %  
≤ 30 %  
≤ 10 %

IN PERCENTS FROM  
THE MAX. DEPTH.

60  
89  
94



Yksityiskohtina voidaan panna merkille Vuoksen vesistön läntisen haaran muuta vesistöä heikommalla hapen pitoisuudella, (vrt. myös kokonaisfosforin pitoisuudet, kuva 45), samoin kuin Kokemäenjoen vesistön pohjoisen haaran alusveden keskimääräinen vähäpääisyys.

Päälyysveden hapen pitoisuus korreloi vahvimmin hiilidioksidiin (-,69) sekä  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (-,54), kokonaisfosforiin (-,46) ja natriumiin (-,43). Kokonaistypen korrelaatiokerroin on -,30. Alusveden laadun erilaista rakennetta ilmentää puolestaan suuri joukko tasavahvoja korrelaatioita, joista hieman muita suurempina mainittakoon: hiilidioksidi (-,56), alkaliniteetti (-,55), väri (-,54), kiintoaine (-,49), joltoky (-,49), kokonaisfosfori (-,48) ja kokonaistyyppi (-,47). Alusveden lämpötilan korrelaatio hapen pitoisuuteen (-,34) on sen sijaan jo tuntuvasti pienempi.

Hiilidioksidimääritysten tuloksia (kuva 42) tarkasteltaessa on huomattava, että määrittäminen perustuu emästitraukseen (Komiteanmietintö 1968), joten tulokset sisältävät myös muut happamuutta aiheuttavat hapot. (Vrt. mm. Järnefelt 1956). Näin ollen edellä todettu yhteys hapen pitoisuuteen lienee todellisuudessa vielä hieman voimakkaampi. Vaihtelun samankaltaisuutta on havaittavissa mm. eri vesistöryhmissä paitsi happeen myös värilliseen orgaaniseen ainekseen ja rautaan nähden.

Päälyysveden hiilidioksidin pitoisuus korreloi ennen muuta paitsi hapen pitoisuuteen (-,69),  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (-,48) ja pH-arvoon (-,46). Alusvedessä sillä on, kuten hapellakin, lukuisasti tasavahvoja yhteyksiä, joista mainittakoon:  $\text{KMnO}_4$ -kulutus (-,69), kokonaisfosfori (-,57) ja happi (-,56). Korrelaatio lämpötilaan on sen sijaan merkityksetön (-,08).

## 2.25 Kokonaisfosfori, -typpi ja pii

Kokonaisfosforin pitoisuuksista eri vesistöryhmissä ja syvyytasoissa (kuva 45) käy selvästi ilmi, että kysymyksessä on vesien tapahtumiin oleellisesti vaikuttava parametri. - Fosforia pidetäänkin järvien eutrofitumisen pääasiallisena aiheuttajana (mm. Ohle 1953; Thomas 1969; Vollenweider 1970). - Nimenomaan rikastuneiden alusvesien pitoisuudet ja rikastumiskertoimet (kuva 50) antavat aiheen moniin huomioihin:

- Etelä- ja lounaisrannikko, Kokemäenjoen vesistö sekä osia Kymijoen vesistön etelä-osasta, Päijänne mukaan luettuna, erottuvat alusveteen rikastuneen fosforin runsauden perusteella muusta Suomesta. - Päälysveden perusteella arvosteltuna Päijänne on kuitenkin "muuta Suomea". - Tämä vastaa myös virtahavaintopaikoilta saatua käsitystä, joskin pitoisuudet ovat niillä odotetusti suurempia.

- Pienimmät pitoisuudet ovat Vuoksen vesistön itäisessä haarassa, mihin verrattuna läntisen haaran kokonaisfosforin pitoisuudet erityisesti päällimmäisissä vesikerroksissa ovat suuria. Seudun rehevyys on vanhastaan tunnettu asia (Maristo 1941).

- Kokonaisfosforin rikastuminen alusveteen rannikolla on verraten epätäydellistä siten, että keskimääräisesti suurin alusveden pitoisuus onkin Kokemäenjoen vesistössä. Viitaten kiintoainepitoisuuksista todettuun on mahdollista, että saostumattomat (savi)hiukkaset pitävät kokonaisfosforin pitoisuuden suurena myös päälysvedessä. - Serruya (1971) korostaa savihiukkasten merkitystä  $E_h$ -n suhteen indifferentin fosforin adsorboijana. - Sama seikka vaikuttanee myös edellä todettuihin suuriin pitoisuuksiin Vuoksen vesistön läntisessä haarassa.

Rikastumiskertoimista (kuva 50) havaitaan kokonaisfosforin olevan raudan luokkaa. Yksityiskohtana voidaan vielä panna merkille rikastumiskertoimien samansuuruisuus niin Vuoksen vesistön eteläosassa ja Päijänteellä kuin ihmisen selvimmin leimaamassa Kokemäenjoen vesistössä. Epäilemättä tämä merkitsee sitä, että eutrofitumisen kannalta tärkeän fosforin pidätyminen pohjalietteen on näillä alueilla oleellisesti huonontunut. (Vrt. myös em. alueilla niiden vesikerrosten paksuuksia, missä hapen kyllästysarvo  $< 10\%$ ; kuva 44).

Kokonaisfosforilla havaitaan olevan lukuisia, mutta heikohkoja yhteyksiä päälysvedessä: kokonaistyyppi (,48), happi (-,46), useita elektrolyyttejä, kiintoaine (,36). Alusvedessä yhteydet suuntautuvat myös monelle taholle, mutta ovat selvästi vahvempia kuin edellä. Seuraavassa muutamia vahvimpia: kokonaistyyppi (,64), väri ja kiintoaine (,63), hiilidioksidi (,57), happi  $\geq 30\%$  (-,57) ja rauta (,56). Korrelaatiot poikkeavat edellä päälysvedessä todetuista. Onhan kysymys muuttujasta, joka on itse merkittävästi vaikuttamassa kemialliseen kerrostumiseen johtaviin tapahtumiin.

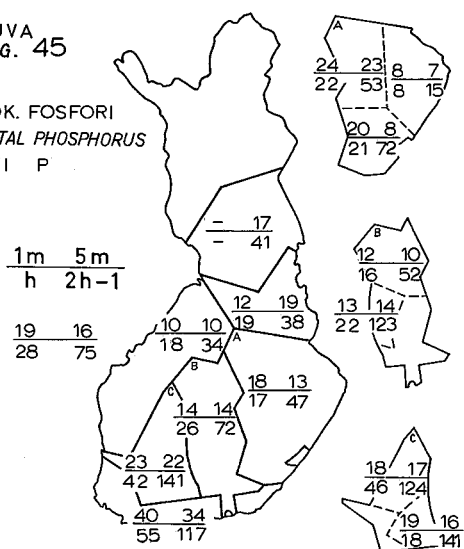
Pintaveteen tapahtuva fosforin väkevöityminen (kuva 51), joka tutkituilla syvänteillä havaittiin olevan noin 20 prosenttia, saattaa olla vielä tällä tärkeällä paikalla tapahtunutta nimellistä kasvua huomattavasti merkittävämpi. Eräässä viimeaikaisessa tutkimuksessa (Gröterud 1971) on nimittäin painotettu jäätymistapahtuman merkitystä fosforin mobilisatiossa.

Kokonaisfosforin pitoisuuksista, ilmaistuina prosentteina kokonaistypen pitoisuuksista (kuva 49), käy selvästi ilmi toisaalta fosforin yleinen niukkuus tyypeen verrattuna nimenomaan päällimmäisissä vesikerroksissa ja toisaalta pohjanläheisissä vesikerroksissa tapahtuva fosforin kasautuminen. Havainnot osoittavat, että rikastumistapahtuman eli pohjasedimenttiin pidätyneiden aineiden mobilisaation merkitys järvi- ja järvialtain veden laadulle on nopeasti suurenemassa.



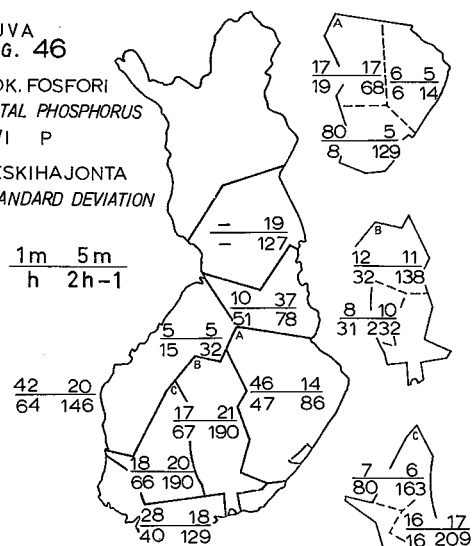
KUVA  
FIG. 45

KOK. FOSFORI  
TOTAL PHOSPHORUS  
µ/l P



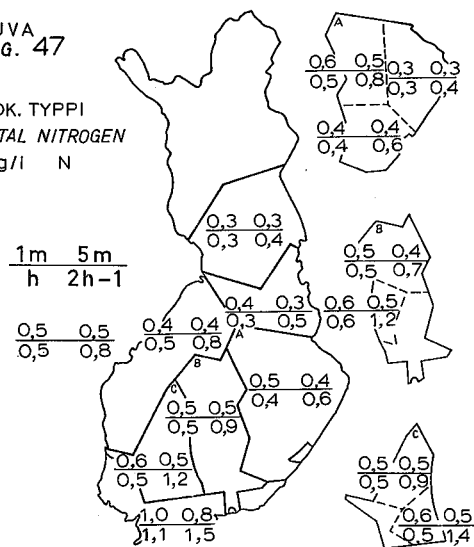
KUVA  
FIG. 46

KOK. FOSFORI  
TOTAL PHOSPHORUS  
µ/l P  
KESKIHÄJONTA  
STANDARD DEVIATION



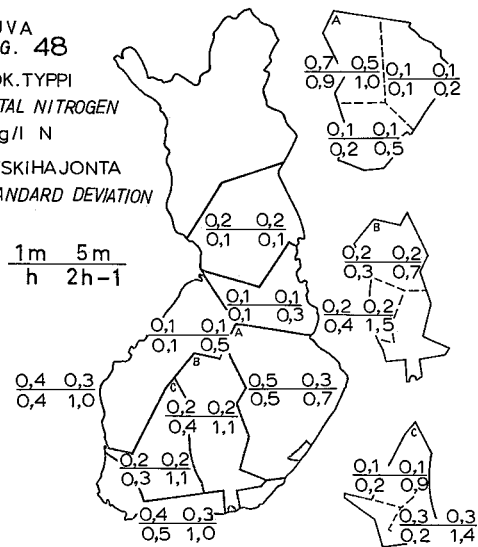
KUVA  
FIG. 47

KOK. TYPPI  
TOTAL NITROGEN  
mg/l N



KUVA  
FIG. 48

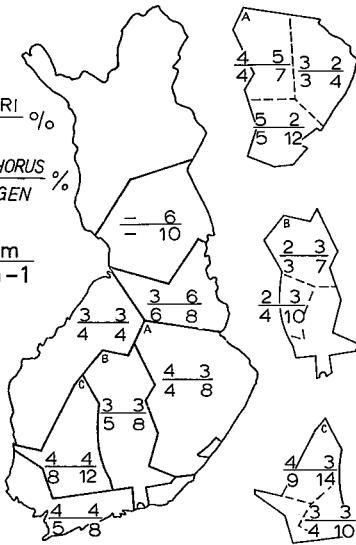
KOK. TYPPI  
TOTAL NITROGEN  
mg/l N  
KESKIHÄJONTA  
STANDARD DEVIATION



KUVA  
FIG. 49

KOK. FOSFORI  
KOK. TYYPPI %  
TOTAL PHOSPHORUS  
TOTAL NITROGEN %

$\frac{1m}{h} \quad \frac{5m}{2h-1}$   
 $\frac{4}{6} \quad \frac{3}{9}$

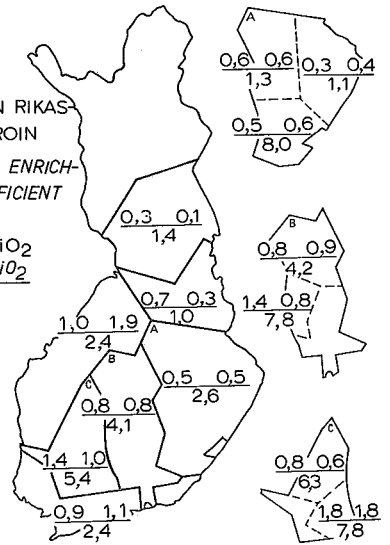


KUVA  
FIG. 50

ALUSVEDEN RIKAS-  
TUMISKERROIN  
HYPOLIMNIC ENRICH-  
MENT COEFFICIENT

KOK. N  $SiO_2$   
TOT. N  $SiO_2$   
KOK. P  
TOT. P

$\frac{0,6}{3,7} \quad \frac{0,7}{3,7}$

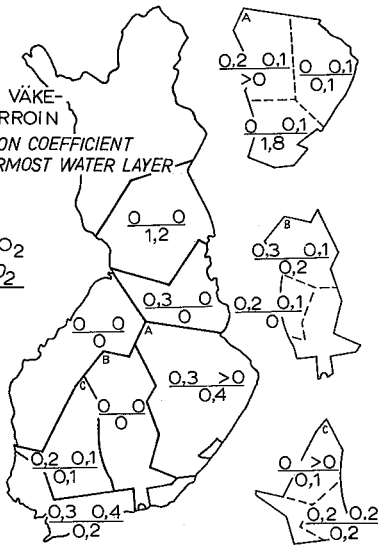


KUVA  
FIG. 51

PINTAVEDEN VÄKE-  
VÖITYMISKERROIN  
CONCENTRATION COEFFICIENT  
IN THE UPPERMOST WATER LAYER

KOK. N  $SiO_2$   
TOT. N  $SiO_2$   
KOK. P  
TOT. P

$\frac{0}{0,2} \quad \frac{0,1}{0,2}$

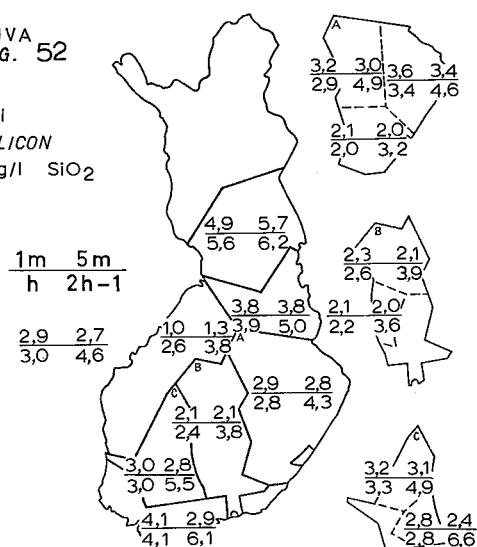


Syvännehavaintopaikoilta mitatut kokonais-  
typen, kuten kokonaisfosforinkin pitoisuu-  
det (kuva 47) ovat selvästi virtahavainto-  
paikoilta mitattuja pienempiä. Vesistöryh-  
mien väliset erot ovat kuitenkin saman  
suuntaisia: Pitoisuudet pienenevät etelästä  
pohjoiseen ja lännestä itään. Tämä ilme-  
nee, kuten edellä, selvimmin alusvesien  
rikastuneissa pitoisuuksissa. Keskiveden  
ja päällysveden typen pitoisuudet eivät juu-  
ri eroa toisistaan, myös rikastuminen on  
tuntuvasti vähäisempää (kuva 50) ja kertoi-  
met poikkeavat vähemmän toisistaan kuin  
fosforilla. Käsitys, että fosforin ja typen  
pitoisuuksien suhteessa ilmenevä vaihtelu  
aiheutuu pääasiassa fosforin pitoisuuden  
vaihtelusta (Laaksonen 1970), näyttää siten  
vahvistuvan.

Pari yksityiskohtaa pantakoon vielä merkil-  
le: Typen rikastuminen Vuoksen vesistön  
eteläosassa on paljon pienempää kuin Päi-

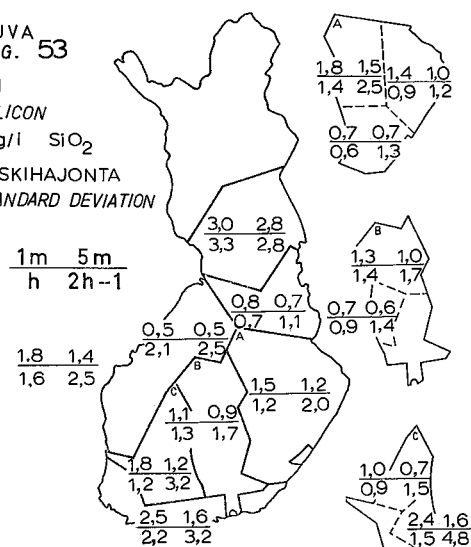
KUVA  
FIG. 52

PII  
SILICON  
mg/l SiO<sub>2</sub>



KUVA  
FIG. 53

PII  
SILICON  
mg/l SiO<sub>2</sub>  
KESKIHAJONTA  
STANDARD DEVIATION



jänteellä havaittava, mutta sen sijaan kokonaisfosforin rikastumiskertoimet ovat saman suuruisia. Vastaavasti näyttää asia olevan myös Kokemäenjoen vesistön pohjoisen ja eteläisen haaran välillä.

Kokonaistypen kuten fosforinkin pitoisuudet päänlyysvedessä korreloivat vahvimmin elektrolyyttien pitoisuuksiin, lähinnä magnesiumiin (,57) ja kalsiumiin (,51). Yhteys hapen pitoisuuteen (-,30) on kuitenkin fosforin vastaavaa (-,46) selvästi heikompi. Alusvedessä sen sijaan typen korrelaatiot hiilidioksidiin ja happeen ovat tasavahvoja fosforin vastaavien yhteyksien kanssa. Näin on asia useiden tärkeimpien yhteyksien osalta, lukuunottamatta alkaliniteettia, jonka pitoisuus alusvedessä korreloi pääravinteista ensi sijassa tyypeen (,73), eikä niinkään fosforiin (,52).

Piipitoisuuden (kuva 52) tarkastelua ei tässä sanottavammin suoriteta. Analyysissa mitataan lähinnä piihapon ja silikaattien pitoisuutta, piileviin sidottua piitä (Apha ym. 1965), joskaan määrittelyn "ulottuvuus" ei ole täysin tiedossa.

Vesistöryhmien piipitoisuuksia keskenään verrattaessa havaitaan merkittäviä eroja lähes kaikkiin muihin muuttujiin nähden, väriä ehkä lukuunottamatta. Suurimmat pitoisuudet ovat pohjoisessa ja etelässä, pienimmät taas Pohjanmaan järvillä. (Vrt. myös Viro 1953). Myös Vuoksen vesistössä pitoisuudet ovat suurempia kuin Kymijoen vesistössä. Edelleen voidaan havaita, että Vuoksen ja Kymijoen vesistöjen yläosissa pitoisuudet ovat kauttaaltaan suurempia kuin alempana. Tässä tutkimuksessa tarkastelluista muuttujista piin pitoi-

suudet lienevätkin vähiten suoraan ihmisen toimista riippuvia.

Piin osallistuminen varsin selväpiirteisesti kemiallisen kerrostuneisuuden aikaansaamiseen käy ilmi tuloksista. Samoin havaitaan, että jään läheisissä vesikerroksissa on melko runsaasti piitä jo ennen kerrostuneisuuden murtumista, piilevien lisääntymistä ajatellen.

- Yleensäkin näyttäisi siltä kuin talvinen, päällimmäisinä olevien vesikerrosten köyhtyminen ei olisi kovinkaan täydellistä ellei tapahtumaan myös liity kemiallinen saostuminen.
- Piin rikastuminen (kuva 50) on rinnastettavissa voimakkuudeltaan kokonaistypen rikastumiseen.

Edellisen perusteella ei ole yllättävää, että päällysveden piillä on huomion arvoinen yhteys vain väriin (,40). Pohjanläheisessä vedessä vastaavan vahvuisia korrelaatioita on runsaammin, mikä rikastuvilla muuttujilla on tavallista. Suurimmat korrelaatiokertoimet ovat alkaliniteetilla (,48), hapella (-,44) ja kokonaistypellä (,42).

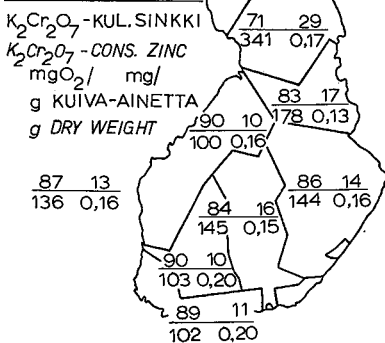
### 2.3 POHJA

Pohjan laadusta järvisyvännehavaintopaikoilla on tietoa vain kahdelta vuodelta (Vesihalitus 1971). Tästä syystä tuloksia tarkastellaan seuraavassa varsin suppeasti.

KUVA  
FIG. 54

POHJA  
BOTTOM

HEHK. JÄÄNN. HEHK. HÄVIÖ  
FIXED RESIDUE LOSS OF IGN  
% KUIVAPAINOSTA  
% DRY WEIGHT



KUVA  
FIG. 55

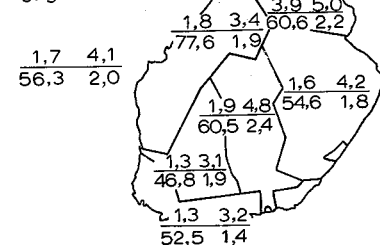
POHJA  
BOTTOM

KOK. P KOK. N  
TOT. P TOT. N

Fe Mn

mg/g KUIVA-AINETTA

mg/g DRY WEIGHT



Syvänteiden pohjan (kuvat 54 ja 55) orgaanisen aineksen pitoisuus näyttää suurenevan rannikoilta sisämaahan päin. Myös rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat maan etelä- ja lounaisosissa pienimmillään. Suurimmat pitoisuudet ovat pohjoisimmalla alueella kuten  $K_2Cr_2O_7$ -kulutuksellakin. Vähäisimmät kokonaisfosforin pitoisuudet pohjalietteessä havaitaan epäilemättä vastoin odotuksia olevan etelä- ja lounaisrannikolla sekä Kokemäenjoen vesistössä eli alueilla, missä alusveden pitoisuudet ovat muita suurempia. Tähän saattaa olla syynä pohjalietteestä tapahtuva purkautuminen. Samaa on sanottava kokonaistypen pitoisuuksista: Ne kytkeytyvät vielä fosforin pitoisuuksia selvemmin orgaanisen aineksen pitoisuuksiin, ja näin suurimmat pohjalietteen keskimääräiset pitoisuudet ovat alueilla, missä vesi on köyhintä. Vastaavat korrelaatiot ovatkin ,91 ja ,36. Analysoiduista muuttujista näyttävät sen sijaan sinkin pitoisuudet pohjalietteessä seurailevan ihmisen toimintojen lisääntymistä ympäristössä: Pitoisuudet ovat suurimmillaan Kokemäenjoen vesistössä ja sen alapuolisella rannikolla. Sinkki on ainoa pohjan laatua kuvaavista muuttujista, jolla on vähänkään vahvempia korrelaatioita alusveden pitoisuuksiin: magnesiumiin (,56), kalsiumiin (,53) ja siten myös johtokykyyn (,54).

Muista pohjan muuttujien keskinäisistä ja yleensä vähäisistä korrelaatioista todettakoon tässä vielä, että raudalla ja mangaanilla on melko selvä keskinäinen yhteys (,58), kun taas fosforilla ja typellä se on pieni. Raudan vahvin yhteys on fosforiin (,42);  $K_2Cr_2O_7$ -kulutukseen se on jo selvästi pienempi (,28). Mangaanin korrelaatio samaan orgaanisen aineksen pitoisuutta osoittavaan muuttujaan on lähes olematon (,05). Vielä voidaan panna merkillä  $K_2Cr_2O_7$ -kulutuksen ja hehkutushäviön vahva keskinäinen korrelaatio (,89).

### 3. VEDEN LAADUN MUUTTUMINEN

#### 3.1 ERÄITÄ NÄKÖKOHTIA

Sen seikan selvittämiseksi, onko vesistöryhmien veden laadussa vuosina 1965-1970 järvi-syvänteillä tehtyjen havaintojen perusteella todettavissa muuttumistrendiä, laskettiin em. ryhmistä myös vuosittaiset keskiarvot sekä minimi- ja maksimi-arvot. Eri yhteyksissä suoritettu yksittäisten havaintopaikkojen tarkastelu on yleensä osoittanut aikavälin vielä lyhyeksi mahdollisten muuttumissuuntien näkymistä ajatellen. Niinpä myös tässä havaitut, keskiarvoja koskevat muutokset ovat olleet keskihajontoja pienempiä. - Syvänteissä loppu-talvella suoritettavaa veden laadun jatkuvaa havainnointia pidetään kuitenkin muuttumisen tarkkailun kannalta varsin tärkeänä (Mortimer 1971). Seuraavassa tyydytään muutamien tekstitaulukoiden avulla valaisemaan asiaa niissä vesistöryhmissä, mistä havaintoja on runsaasti.

### 3.2 MUUTOKSET ERÄISSÄ VESISTÖRYHMISSÄ

Vuoksen vesistössä ei veden laadun muuttumisen kannalta tärkeitä ja tavanomaisesti ensiksi tarkastellut parametrit (happi, johtokyky ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutus) osoita tiettyä muuttumisen suuntaa. Sen sijaan ne näyttävät lähinnä päällimmäisissä vesikerroksissa seurailevan veden korkeuden vaihteluita siten, että veden korkeuden suurimpia arvoja vastaavat johtokyvyn ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen pienimmät arvot ja hapen suurimmat arvot. - Koko aineistossa ovat kuitenkin veden laatua kuvaavien parametrien korrelaatiot (liitteet 4 ja 5) veden korkeuteen vähäpätöisiä: Johtokyvyn korrelaatiokerroin, joka on natriumin ( $\text{Na}$ ) jälkeen suurin, on vain 0,20. - Alusveden raudan ja värin vuosikeskiarvot saattavat kuitenkin tulkita, tosin vielä lyhyessä sarjassa, laadun muuttumista so. pohjan pidätkyvyn heikkenemistä:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Veden kork.	173	198	221	206	198	187
$\text{O}_2 \geq 70 \%$	66	66	76	66	64	64
$\text{Cl}_{18}$	48	51	44	43	49	49
Väri	71	71	75	77	84	82
$\text{KMnO}_4$	43	45	42	44	41	-
Fe	0,9	0,8	1,1	1,4	1,4	1,6

Myös raudan maksimiarvot alusvedessä ovat suurenemassa. Happipitoisuuden vähäisestä heikkenemisestä 1969 ja 1970 talvina ei kuitenkaan ole tehtävä johtopäätöksiä siitä, että tapahtunut vesistön kuormituksen kasvu olisi jo näin todettavissa, joskin on perusteltua odottaa huononemisen siten ilmenevän.

Kymijoen vesistössä näyttäisi johtokyvyn vuotuinen minimiarvo olevan suurenemassa kaikissa neljässä vesikerroksessa. Tämä samoin kuin johtokyvyn ja kloridin keskiarvojen kasvu pinta- ja päällyksivedessä saattaa siten merkitä likaantumisen yleistymistä. Myös kloridin minimi pintavedessä, kuten pH:kin, näyttäisi olevan suurenemassa. Eräistä vesistön päälikaajia koskevista muutoksista aiheutunee se, että värin,  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen, johtokyvyn ja kokonaisrikin vuosimaksimit ovat pienenemässä kaikissa vesikerroksissa. Käännös näyttää tapahtuneen 1968. Samaa osoittanee  $\text{O}_2 \geq 10 \%$  ja  $\text{O}_2 \geq 70 \%$  minimien kasvu.

Alusvedessä huomataan, samoin kuin edellä Vuoksen vesistössäkin, värin ja raudan vuosikeskiarvojen kasvua, joka sellaisenaan saattaa enteillä selvemmin tulkittavia muutoksia syvänteiden pohjalla:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Veden kork.	158	158	173	173	169	160
O <sub>2</sub> $\geq 70$ %	66	56	70	68	58	71
$\alpha_{18}$	55	59	54	56	54	55
Väri	57	69	68	76	71	81
KMnO <sub>4</sub>	67	69	69	61	57	-
Fe	0,9	1,7	1,2	1,4	2,1	2,0

Vuoksen vesistöön verrattuna on ehkä paikallaan huomata vielä sen vesipatsaan osan selvästi suurempi vuosivaihtelu, jossa hapen pitoisuus  $\geq 70$  % kyllästysarvosta.

Myös etelä- ja lounaisrannikon järvisyvänteitä koskevista vuosi-arvoista voitaneen nähdä veden laadun muuttumista osoittavia merkkejä, joskaan selvästä trendistä ei täällä sen enempää kuin muuallakaan voida puhua. Likaantumisen yleiseen kasvuun näyttäisi viittaavan johtokykyarvojen suureneminen kaikissa vesikerroksissa sekä happipitoisuuden pieneminen pinta- ja päällyysvedessä. Tutkimusjakson eräät vuosikeskiarvot alusvedessä ovat:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Veden kork.	221	183	240	183	195	183
O <sub>2</sub> $\geq 70$ %	42	40	42	38	40	28
$\alpha_{18}$	147	122	121	123	130	135
KMnO <sub>4</sub>	53	48	47	47	47	-

Myös kloridin vuosiminimit näyttävät olevan kasvamassa kaikissa vesikerroksissa, kuten johtokyvyn vastaavat arvot alusvedessä. Pinta- ja päällyysvedessä ei rannikoilla, kuten ei Vuoksen eikä Kymijoenkaan alueilla, voida sen sijaan havaita happamuuden sen enempää kuin rikkipitoisuudenkaan kasvamista. Myöskään alkaliniteetin pienemiseen viittaavaa ei ole todettavissa.

Kokemäenjoen vesistöä koskevista havainnoista on pantavissa merkille, että lyhyen havaintojakson loppupuolella näyttäisi veden laatu heikkenevän veden korkeuden vaihtelusta poiketen. Seuraavassa eräitä alusveden vuosikeskiarvoja:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Veden kork.	221	186	231	207	200	220
O <sub>2</sub> %	27	24	28	24	17	18
$\alpha_{18}$	77	80	77	70	86	84
Väri	126	126	95	112	136	150
KMnO <sub>4</sub>	80	87	73	70	83	-
Fe	2,6	2,7	2,1	2,1	3,6	3,3

Niinpä pienimmät hapen pitoisuudet ovat vuosina 1969 ja 1970, jolloin myös johtokyvyn, värin ja raudan arvot ovat muita suuremmat. Ihmisen vaikutuksen lisääntymisestä johtuviksi voidaan mahdollisesti tulkita myös eräitä muita seikkoja: Johtokyvyn ja kloridin minimiit näyttävät suurenevan kaikissa vesikerroksissa, kun taas hapen maksimipitoisuus alusvedessä pienenee. Myös alkaliniteetin vuosikeskiarvot pienenevät niin pinta- kuin päällysvedessäkin, "hiilidioksidin" kasvaessa. Suoranaista pH:n alenemista tai rikkipitoisuuden kasvua ei sen sijaan ilmene. Myös pintaveden keskimääräinen johtokyky näyttäisi olevan voimistumassa:

	1965	1966	1967	1968	1969	1970
$\alpha_{18}$	56	58	55	56	60	62

Joskaan selvää trendiä ei lyhyen tarkkailujakson aikana ole ollut havaittavissa, lienee kuitenkin eräitä useissa vesistöryhmissä havaittuja seikkoja pidettävä oireina tapahtuvasta "vanhenemisesta". Tällaisina on ensisijassa mainittava pohjan läheisen alusveden rautapitoisuuden ja värin vuosikeskiarvojen suureneminen samoin kuin johtokyvyn ja kloridien keski- ja minimiarvojenkin suureneminen. pH:n alenemiseen tai rikkipitoisuuden kasvuun viittaavaa ei sen sijaan todettu.

#### 4. FAKTOROINTI

##### 4.1 FAKTORIANALYYSISTÄ

Faktorointia on tässä tutkimuksessa käytetty tiivistämään 19 muuttujan sisältämää tietoa. Samalla on alkuperäisten muuttujien yhteisvaihtelu saatu helpommin luettavaan muotoon. Näin on avattu uusi näkökulma, mikä saattaa olla tarpeen nk. piilomuuttujia ajatellen, havaintojen kohteena olleiden syvyystasojen veden laadun tarkastelua varten.

Faktorointi on tapahtunut pääakselimenetelmää käyttäen siten, että muuttujien kommunaliteettien estimaatteina on käytetty kunkin muuttajan suurimman korrelaation itseisarvoa (Harman 1960). Eri vaihtoehdoista on päädytty ominaisarvojen perusteella ( $>1$ ), aikaisemmassa tutkimuksessa käytetyn kuuden faktorin asemasta neljään faktoriin, joihin alkuperäinen tieto on siten kommunaliteettien puitteissa tiivistetty. Rotaatiossa on, kuten edelliselläkin kerralla käytetty Varimax-menettelyä, jolla saadut tulokset ovat invariantteja mm. faktorien lukumäärän suhteen (Riihinen 1965). Muuttujien faktoreilta saamista latauksista on  $<0,30$  pidetty 0-latauksina, joissa faktorin osuus on vähäpätöinen, ja niitä ei sen vuoksi ole liioin merkitty rotatoituja matriiseja esittäviin taulukoihin.

Seuraavassa tarkastellaan pääasiassa koko aineistoon perustuvia, syvyysvyöhykkeittäin



laskettuja rotatoituja faktorimatriiseja. Suoritetaanhan rotatointi nimenomaan tulkinnan helpottamiseksi: Muuttujien halutaan saavan faktoreilta joko korkeita tai lähellä nollaa olevia latauksia, jolloin matriisien sarakkeet yksinkertaistuvat.

Analyysin periaatteen mukaan pääakseliratkaisussa ensimmäisen faktorin tulee selittää mahdollisimman paljon yhteisvarianssista (Harman 1960). Useiden muuttujien mitatessa samaa tai lähes samaa asiaa, voi tämä vaikuttaa ratkaisevasti pääakselin sijoittumiseen, ja mitä lähempänä faktori on muuttujaa sitä suurempi on myös lataus. Tästä syystä on mahdollista, että elektrolyyttien merkitys tulee tässä tapauksessa korostetuksi. - Ihanteellista olisi, jos kunkin ilmiön kuvaamiseen voitaisiin alun perin käyttää yhtä monta mittaria. Tähän on kuitenkin sanottava, että jos parametrien sisältö olisi hyvin tiedossa ei analyysin suorittaminen olisi enää tarpeen. - Tämän mahdollisuuden eliminoimiseksi (ja samalla tietäen, että määritysten lukua pienennettäessä samalla menetetään tietoa) on myös laskettu ja lyhyesti tarkasteltu ratkaisuja, joista kokonaisrikki, kalsium, natrium, magnesium ja kloridi elektrolyyttiryhmän samantyyppisinä muuttujina on jätetty pois.

## 4.2 FAKTORIT

Eri syvyytasoja (1 m, 5 m, h ja 2h-1) koskevien havaintojen faktoroinnin tulokset on esitetty rotatoituina matriiseina. Yhteistä niille kaikille on se, että faktorit ovat paitsi keskenään samaistettavia, myös rinnastettavissa virtahavaintopaikkojen tutkimuksessa tärkeimmiksi havaittuihin faktoreihin. Nimeäminen, joka olisi voinut näin ollen tapahtua viimeksi tarkoitetun tutkimuksen mukaisesti, ei siten ole ollut pulmallinen. Tämän ei kuitenkaan tarvitse merkitä tulkinnan onnistumista. Seuraavan nimisiä ja sisältöisiä faktoreita on löydetty (suluissa vastaavan faktorin nimi virtahavaintopaikkoihin perustuvassa tutkimuksessa):

Suolafaktori (elektrolyyttifaktori), jonka osuus johtokyvyn, kokonaisrikin, kaliumin, kalsiumin, natriumin, magnesiumin ja kloridin latauksissa on muihin faktoreihin nähden lähes aina ylivoimainen.

Rautafaktori (kiintoainesfaktori), joka selittää paitsi pääosan raudan ja kiintoaineen yhteisvarianssista myös huomattavan osan väristä, piistä ja usein lisäksi pääravinteista.

pH-faktori (happamuusfaktori), jonka osuus pH:ta ja liuenneen orgaanisen aineksen pitoisuutta mittaavissa muuttujissa on ratkaisevan suuri. Lisäksi sen osuus on huomattava myös värin ja alkaliniteetin selittäjänä, mutta tätä jo selvästi pienempi raudan ja hiilidioksidin suhteen.

Happifaktori (happivajausfaktori) selittää nimenomaan hapen ja lämpötilan varianssia muihin faktoreihin paremmin sekä huomattavan osan hiilidioksidista. Faktorilla on usein latauk-

set ravinteiden ja orgaanisen aineksen pitoisuutta osoittavissa muuttujissa. Faktori näyttää siten selittävän biologisia toimintoja.

### 4.3 VEDEN LAATU FAKTORIEN ILMAISEMANA

#### 4.31 Pintavesi ja päällysvesi

Pintaveden rotatoidun matriisiin (taulukko 3) voidaan havaita odotetusti muistuttavan päällysveden laatua kuvaavaa matriisia (taulukko 4). Niinpä faktoreiden järjestys on sama ja niiden ominaisarvot (%) melko samansuuruisia:  $F_1$  eli suolafaktori,  $F_2$  eli pH-faktori,  $F_3$  eli rautafaktori ja  $F_4$  eli happifaktori. Yksityiskohdissa on sen sijaan eroja. Niinpä kommunaliteeteistä havaitaan päällysvedessä pH- ja  $\text{KMnO}_4$ -muuttujien olevan tärkeämpiä laadun osia kuin pintavedessä, jossa taas lämpötilan ja piin merkitys on selvästi suurempi.

Happifaktorin merkitys 5 metrin syvyydessä on suurempi kuin ylempänä 1 metrin syvyydessä: Päällysvedessä, joka on selvästi jo välivettä pintavedeen nähden, se on seitsemän prosenttiyksikköä suurempi, kun taas suolafaktori on pintavedessä hieman voimakkaampi. Hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksien vaihtelu on siten yksiselitteisempää ( $F_4$ ) päällysvedessä kuin pintavedessä, jossa se hapen osalta perustuu kolmeen eri faktoriin. Pintaveden hapen pitoisuuden vaihtelu korreloi järvialtaissa lopputalvella lämpötilan vaihteluun hieman voimakkaammin kuin vähän syvemmällä olevan päällysveden. Faktorin samanmerkisistä latauksista päätellen sulamisvesien vaikutus on ilmeinen. Päällysveden happifaktorin havaitaan myös aiheuttavan osan kokonaisfosforin pitoisuuden vaihtelusta (lähes 40 % kommunaliteetista). Fosforin lataus on odotetusti erimerkkinen hapen lataukseen nähden. Pintavedessä puolestaan fosfori-muuttuja on jäänyt lähes kokonaan tavoitetun yhteisvaihtelun ulkopuolelle, eikä sillä näin ollen tässä vesikerroksessa ole havaittavaa yhteyttä hapen pitoisuuteen. Sama on sanottava päällysveden typpipitoisuuden merkityksestä. - Ravinteiden kuten kiintoaineenkin pienet pitoisuudet näyttäisivät edellyttävän parempia mittausmenetelmiä, jotta suuri satunnaisvaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta pienenisi.

Pintaveden rautafaktori ( $F_3$ ) eroaa varsin vähän päällysveden vastaavasta. Ainoa huomion arvoinen ero on se, että faktori ilmaisee päällysvedessä runsaan 30 % kokonaisfosforin kommunaliteetista olevan hiukkasiin sidottua. Pintavedessä ei taas tavoitettu fosforin yhteisvaihtelua lainkaan. Merkittävinä yhteisinä ominaisuuksina  $F_3$ -faktoreissa voidaan panna merkeille, että vain osa, tosin merkittävä osa värin varianssin selittymisestä, pintavedessä yli 50 % ja päällysvedessä yli 40 %, juontuu rautafaktorista ( $F_3$ ). Keskinäinen ero johtunee edellä kosketellusta väkevoitymistapahtumasta. Tähän viittaa myös se, että faktori osoittaa selvästi suuremman osan raudan varianssista kytkeytyvän kiintoaineeseen pintavedessä (70 %) kuin päällysvedessä (50 %). Rautafaktori selittää molemmissa vesikerroksissa myös pääosan "molybdaattiin" pitoisuuksien vaihtelusta. Ainoastaan pintavedessä osa siitä (30 %) näytti selittyvän happifaktorin avulla ts. se korreloi happeen ne-

Taulukko 3. Pintavettä (1 m) kuvaavan aineiston rotatoitu faktorimatriisi.  
 Table 3. Rotated factor matrix for surface (1 m) data.

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	$h^2_{j/4}$ (1)
Lämpötila <i>Temperature</i>				,36 (-,37)	,15 (,16)
Happi <i>Oxygen</i>	-,44 (-,46)	-,43 (-,52)		,41 (-,34)	,59 (,62)
Hiilidioks. <i>Carbon dioxide</i>	(,34)	,46 (,54)		-,46 (,39)	,54 (,57)
Kiintoaine <i>Susp. solids</i>			,52 (,49)		,32 (,32)
Johtokyky ( $\kappa_{18}$ ) <i>Conductivity</i>	,96 (,90)				,94 (,86)
Alkalinit. <i>Alkalinity</i>	,71 (,82)	-,33			,68 (,76)
pH <i>pH</i>		-,64 (-,62)			,49 (,49)
Väri <i>Colour</i>		,62 (,58)	,67 (,71)		,84 (,84)
KMnO <sub>4</sub> -kulutus <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>		,74 (,72)			,60 (,60)
Kok. typpi <i>Total nitrogen</i>	,36 (,40)		,40 (,34)		,33 (,34)
Kok. fosfori <i>Total phosphorus</i>					,09 (,11)
Kok. rikki <i>Total sulfur</i>	,79				,76
Kalium <i>Potassium</i>	,86 (,88)				,84 (,86)
Kalsium <i>Calcium</i>	,80				,69
Natrium <i>Sodium</i>	,90				,85
Magnesium <i>Magnesium</i>	,73		,30		,70
Kloridi <i>Chloride</i>	,80				,71
Rauta <i>Iron</i>		,48 (,45)	,74 (,76)		,78 (,79)
Pii <i>Silicon</i>			,59 (,59)	-,40 (,40)	,53 (,54)
Ominaisarvo <i>Eigen value</i>	5,98 (2,97)	2,35 (2,16)	2,22 (1,97)	,88 (,74)	11,43 (7,84)
Ominaisarvo, % ominais- arvojen summasta <i>Eigen value %</i>	52 (38)	21 (28)	19 (25)	8 (9)	

(1)  $h^2_{j/4}$  kommunaliteetti 4 faktorin jälkeen

Taulukko 4. Päälysvettä (5 m) kuvaavan aineiston rotatoitu faktorimatriisi.

Table 4. Rotated factor matrix for epilimnic (5 m) data.

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub> (F <sub>4</sub> )	F <sub>4</sub> (F <sub>3</sub> )	h <sup>2</sup> <sub>j/4</sub>
Lämpötila Temperature					,07 (,12)
Happi Oxygen				-,68 (-,70)	,60 (,62)
Hiilidioks. Carbon dioxide				,67 (,71)	,53 (,57)
Kiintoaine Susp. solids			,54 (,50)		,32 (,32)
Johtokyky ( $\kappa_{18}$ ) Conductivity	,95 (,85)				,93 (,79)
Alkalinit. Alkalinity	,55 (,73)	-,56 (-,37)			,72 (,73)
pH pH		-,63 (-,60)		-,43 (-,43)	,61 (,62)
Väri Colour		,69 (,79)	,59 (,49)		,86 (,88)
KMnO <sub>4</sub> -kulutus KMnO <sub>4</sub> cons.		,73 (,80)		,38 (,36)	,77 (,77)
Kok. typpi Total nitrogen	,39 (,45)		,39		,34 (,34)
Kok. fosfori Total phosphorus	,34 (,45)		,39 (,31)	,42 (,33)	,45 (,43)
Kok. rikki Total sulfur	,83				,78
Kalium Potassium	,80 (,91)	-,32			,79 (,83)
Kalsium Calcium	,80				,69
Natrium Sodium	,85			,37	,87
Magnesium Magnesium	,68		,31		,62
Kloridi Chloride	,80				,73
Rauta Iron		,58 (,69)	,65 (,56)		,81 (,82)
Pii Silicon			,57 (,60)		,39 (,44)
Ominaisarvo Eigen value	5,53 (2,79)	2,46 (2,47)	2,07 (1,44)	1,82 (1,58)	11,88 (8,28)
Ominaisarvo, % ominais- arvojen summasta Eigen value %	47 (34)	21 (30)	17 (17)	15 (19)	

gatiivisesti.  $F_3$ -faktoreissa voitaneen vielä panna merkille magnesiumin lataukset, jotka osoittavat vähäisen osan siitä kulkeutuvan kiintoaineen myötä.

pH-faktorin ( $F_2$ ) osuus ominaisarvojen summasta (kaikkien muuttujien yhteisvarianssista) on sekä pintavedessä että päälyysvedessä 21 %. Faktorit ovat edellisten lailla oleellisel-ta osin samansisältöisiä. Pääasiallisena erona näyttää olevan se, että alkaliniteetin vari-anssista huomattavasti suurempi osa selittyy faktorilla ts. kytkeytyy pH-arvoon ja mm. orgaaniseen ainekseen ja rautaan päälyysvedessä (43 %) kuin pintavedessä (16 %), jossa taas hiilidioksidilla ja hapella on lataukset. Faktori osoittautuu nimenomaan orgaanisen aineksen yhteyksien ja samalla sen alkuperän kartoittajaksi. Voidaan havaita, että  $KMnO_4$ -kulutuksena mitatun orgaanisen aineksen pitoisuudella on, kuten veden värilläkin, pinta- ja päälyysvedessä vain pienehkö merkitys hapen pitoisuudelle, mutta sen sijaan faktori on ainoa pH:n selittäjä pintavedessä ja päälyysvedessäkin sen osuus on 65 % kom-munaliteetista. Merkille pantavaa on edelleen, että faktori selittää värin yhteisestä vaih-telusta 45-55 % ja raudan 30-40 %, mikä osa raudasta järvisyvänteiden ylimmissä vesi-kerroksissa ei siten kytkeydy kiintoaineen esiintymiseen.

$F_1$ - eli suolafaktorin merkitys muihin nähden on ylivoimainen. Käsittäähän se puolet (52 ja 47 %) faktorien ominaisarvojen summasta. Siitä huolimatta, että elektrolyyttimuut-tujien lukuisuus kieltämättä vaikuttaa faktorin aseman tärkeyteen, on todettava suolapitoi-suuden ensiarvoinen merkitys syvänteiden pinta- ja päälyysveden laadulle. Muuttujajoukon supistaminen ei nimittäin muuta oleellisesti tulosta. Sen sijaan faktorin asema, so. suo-lapitoisuuden merkitys, heikkenee selvästi syvänteiden pohjaa kohti.

$F_1$ -faktoreiden samankaltaisuus on jo aikaisemmin muista faktoreista sanotun perusteella odotettu. Ehkä merkittävimpana erona on mainittava se jo edellä  $F_2$ -faktorin yhteydessä kosketeltu seikka, että pintavedessä haponsitomiskyky aiheutuu huomattavasti suuremmassa määrin (74 % kommunaliteetista) suolafaktorin vapaista ioneista kuin päälyysvedessä (42 %), jossa se samassa määrin on riippuvainen mm. suhteellisesti runsaammin rautaa ja hie-man kaliumiakin sisältävästä  $F_2$ -faktorista. Matriiseja esittävistä taulukoista (3 ja 4) voi-daan vielä nähdä, että molemmissa vesikerroksissa sekä mineraalitypen että kiintoainee-seen sidotun typen osuudet ovat melko samansuuruiset eli 40-50 % analyysissä tavoitetus-ta yhteisvarianssista.

Supistetuihin ratkaisuihin, joissa saadut lataukset on edellisistä poiketen ilmoitettu sulku-merkkien sisässä samoissa matriiseissa, käy ilmi että viiden elektrolyyttimuuttujan (kokonaisrikki, kalsium, natrium, magnesium ja kloridi) jättäminen pois analyysistä ei muuta faktoreiden sijaintia, eikä muuttujien niiltä saamia latauksiakaan. Tämä pysyvyys osoittaa ennen muuta elektrolyyttien keskeistä merkitystä maamme suurehkojen järvien syvänteiden pinta- ja päälyysveden laadulle.

## 4.32 Keskivesi

Taulukossa 5 on esitetty vesipatsaan keskikohdan (h) veden laatua kuvaava rotatoitu faktorimatriisi. Faktoreista huomataan suolafaktorin ( $F_1$ ) olevan edelleen suurimman (38 %), tosin aikaisemmista huomattavasti pienentyneenä. Toinen ilmeinen rakennemuutos koskee happifaktoria ( $F_2$ ). Sen osuus veden laadusta suurenee selvästi pohjaa kohti. Sama merkityksen lisääntyminen käy ilmi myös hapen ja hiilidioksidin kommunaliteettien kasvusta. Sen sijaan pH-faktorin, jota on todettu värillisen, orgaanisen aineksen luonnehtivan pH:n ohella, kuten rautafaktorinkin osuudet veden laadusta kolmessa ylimmässä syvyystasossa ovat miltei samat. Edellä sanottu vastanneekin näiden syvyystasojen veden laadusta jo muuttujien keskiarvojen perusteella saatua kuvaa.

Faktoreita lähemmin tarkasteltaessa, so. verrattaessa niitä päänlyysveden (5 m) matriisissa oleviin, havaitaan monia eroja yksityiskohdissa: Muuttujat näyttävät saavan osin uutta sisältöä faktoreista, ennakkoiden siten tavallaan pohjan läheisessä alusvedessä jo selvästi ilmenevää muuttunutta järjestystä. Tämä näkyy latausten luvun lisääntymisenä, mikä epäilemättä heikentää tulkittavuutta, joskin päinvastaistakin kasautumisen seurauksena on havaittavissa. Niinpä suolafaktori ( $F_1$ ), joka kyllä edelleen on ominaisarvoltaan suurin (38 %), selittää myös 22 % orgaanisen aineksen yhteisvarianssista. Muut faktorit selittävät puolestaan pinta- ja päänlyysvedessä havaittua suuremman osan useiden elektrolyyttien varianssista. Ravinteiden latausten puuttuminen suolafaktorista osoittanee, että niitä ei mineralisoituneena tässä syvyystasossa juuri esiinny, päinvastoin kuin sen yläpuolella ja alapuolella pohjan lähellä. Kokonaisfosforin ja -typen kommunaliteetit ovat kuitenkin kaikissa syvyystasoissa, alinta ehkä lukuunottamatta, varsin pieniä, mikä selvästi heikentää analyysien merkitystä veden laadulle. Suolafaktori selittää hapen varianssista verraten paljon (35 %), mikä osoittaa keskivedessä suolapitoisuuden kytkeytyvän selvähkösti happipitoisuuteen. Näiden seikkojen, kuten myös kiintoaineen pienentyneen merkityksen ( $F_4$ ), lieenee katsottava karakterisoivan altaassa tapahtuvaa veden vanhenemista, mihin veden tässä kerroksessa olo jo luo edellytykset, joskin läsnäoleva, pienehkö orgaanisen aineksen pitoisuus on myös otettava huomioon.

$F_2$ -faktori on biologisia toimintoja ilmentävä happifaktori, jonka osuus ominaisarvojen summasta on peräti 22 %. Niinpä se aiheuttaakin faktoreista eniten kokonaisfosforin (86 %), mutta myös hapen ja hiilidioksidin (52 ja 45 %) yhteisvaihtelusta. Viimeksi mainittujen muuttujien selittyminen hajautuu kuitenkin useiden faktorien osalle.  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen varianssin hajautuminen, joka on saman suuntainen hapen ja hiilidioksidin kanssa, havaitaan aiheutuvan myös samoista syistä (faktoreista). Orgaanisen, ei värillisen aineksen ja johtokyvyn positiivinen korrelaatio  $F_2$ -faktorissa (sama  $F_1$ :ssä) viittaa jo alkavaan laadun rakenteen muuttumiseen, kuten natriumin, kloridin ja kaliumin pitoisuuksien osittainen selittyminen happifaktorin avulla. Huomion arvoiselta näyttää myös se, että merkittävä osa alkaliniteetista (40 %) korreloi positiivisesti hiilidioksidiin, trendin voimistuessa vielä alusvedessä. Näin keskivesi on epäilemättä se vesikerros, jonka veden laatu talvela kuvastelee yläpuolella tapahtuvan sedimentoitumisen ohella myös pohjasta ylös suuntautuvan ainevirtailun merkitystä (Ohle 1958). Tähän tiheyskerrostuneisuuden voimistuminen

Taulukko 5. Keskipettä (h) kuvaavan aineiston rotatoitu faktorimatriisi.

Table 5. Rotated factor matrix for middle depth (h) data.

	F <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> )	F <sub>2</sub> (F <sub>4</sub> )	F <sub>3</sub> (F <sub>2</sub> )	F <sub>4</sub> (F <sub>3</sub> )	h <sup>2</sup> <sub>j/4</sub>
Lämpötila Temperature					,02 (,10)
Happi Oxygen	-,49 (,50)	-,60	(-,59)		,69 (,71)
Hiilidioks. Carbon dioxide	,38	,54	-,45 (,77)		,65 (,72)
Kiintoaine Susp. solids				,38 (-,40)	,27 (,28)
Johtokyky ( $\times 10^8$ ) Conductivity	,84 (-,74)	,42	(,39)		,92 (,77)
Alkalinit. Alkalinity	(-,74)	,56 (,48)	,60		,79 (,80)
pH pH			,74 (-,70)	(,38)	,66 (,66)
Väri Colour			-,52 (,40)	,67 (-,78)	,76 (,78)
KMnO <sub>4</sub> -kulutus KMnO <sub>4</sub> cons.	,41	,33	-,69 (,83)		,77 (,77)
Kok. typpi Total nitrogen		,42 (-,44)		,37 (-,34)	,37 (,36)
Kok. fosfori Total phosphorus	(-,36)	,60 (,38)			,42 (,36)
Kok. rikki Total sulfur	,86				,83
Kalium Potassium	,55 (-,89)	,47	,48		,79 (,82)
Kalsium Calcium	,78				,72
Natrium Sodium	,72	,51			,80
Magnesium Magnesium	,56		,48	,34	,69
Kloridi Chloride	,67	,47			,74
Rauta Iron			-,35	,77 (-,84)	,77 (,79)
Pii Silicon		(,44)		,61 (-,50)	,39 (,45)
Ominaisarvo Eigen value	4,53 (2,67)	2,68 (,84)	2,62 (2,67)	2,22 (2,19)	12,05 (8,37)
Ominaisarvo, % ominais- arvojen summasta Eigen value %	38 (32)	22 (10)	22 (32)	18 (26)	

luo hyvät edellytykset. Merkille pantavaa on edelleen, ettei tässä sen enempää kuin 5 metrinkään syvyystasossa värillisellä orgaanisella aineksella näytä olevan merkitystä hapen kulumiselle, mihin lienee syynä edellä viitattu humuksen fraktioituminen. Muista vesikerroksista poiketen näyttää sen sijaan kokonaisfosforin pitoisuus täällä olevan vailla yhteyttä niin kiintoaineeseen kuin rautaankin. Myös kokonaistypen varianssista lähes puolet havaitaan olevan liuenneena.

Edelliseen happifaktoriin on ominaisarvoltaan täysin rinnastettava pH-faktori ( $F_3$ ), joka selittää muita faktoreita paremmin pH:n, orgaanisen aineksen ja alkaliniteetin yhteistä vaihtelua. Myös kolmannes värin, kaliumin ja magnesiumin vaihtelusta aiheutuu faktorista. Se eroaa päälyysveden vastaavasta ( $F_2$ ) faktorista vain siinä olevien hiilidioksidin ja magnesiumin latausten sekä raudan latauksen pienuuden vuoksi. Keskivesikerroksessa näyttääkin raudasta olevan tuntuvasti vähäisempi osa (16 %) orgaanisen, värillisen, ei-kiinteän aineksen osana kuin päälyysvedessä (49 %). Magnesiumin ja kaliumin latausten osalta näyttää kysymyksessä myös olevan värillisiin kolloideihin sitoutuminen siitä päätellen, että johtokykytuuttujassa ei näytä olevan tätä faktoria ( $F_3$ ). Tämä selittänee myös haponsitomiskykyä: Päälyysvedessä olisi vain kaliumin latauksen pienuutta ja magnesiumin puuttumista korvaamassa ei-ionimuotoisen raudan suhteellinen enemmisyys keskiveteen verrattuna.

$F_1$ - ja  $F_2$ -faktoreiden tarkastelun yhteydessä jo sanotun lisäksi tulkoon tässä vielä todetuksi, että pH-faktori, joka selittää  $2/3$   $\text{KMnO}_4$ -kulutuksena mitatun orgaanisen aineksen pitoisuuden yhteisvarianssista eli sen värillisen osa, ei näytä vaikuttavan hapen, mutta kyllä "hiilidioksidin" pitoisuuteen. Tätä lienee pidettävä osoituksena siitä tunnetusta asiasta (vrt. Ohle 1940), että analyysissä mitataan oloissamme myös nk. humushappoja hiilidioksidina.

Kiintoaineen vähäinen merkitys keskivesikerroksen veden laadulle käy ilmi paitsi pienestä kommunaliteetista myö rautafaktoria ( $F_4$ ) tarkasteltaessa: Sen asema on muihin faktoreihin nähden heikoin juuri tässä syvyystasossa, joskin lähes sama on ollut todettavissa myös yläpuolisissa vesikerroksissa. Tämä ei ole ollut yllättävää, koska järviäلتaiden on yleisesti tiedetty toimivan erityisesti jääpeitteen aikana, sinne kulkeutuvien hiukkasten saostumisaltaina. (Vrt. mm. Laaksonen 1970). Kiintoaineen vielä entisestään selvästi pienentyneen merkityksen lisäksi keskiveden rautafaktori eroaa päälyysveden vastaavasta siten, että siitä puuttuu kokonaisfosforin lataus ja, että faktorin osuus raudan (ja värin) selittäjänä on suurentunut. Se muistuttaakin siten rakenteeltaan parhaiten pintaveden  $F_3$ -faktoria.

Rautafaktorin havaitaan vielä selittävän kokonaistypen vähäisestä kommunaliteetista merkittävän osan (37 %). Biologisia toimintoja osoittavien muuttujien, kuten fosforinkin, puuttuminen ilmaisee tämän kokonaistypen osan olevan stabiilin ja ehkäpä suorastaan sidotun johonkin humuksen ja raudan fraktioon, joka ei aiheuta sanottavaa  $\text{KMnO}_4$ -kulutusta. Valtaosan piin yhteisvarianssista (95 %) havaitaan edelleen aiheutuvan rautafaktorista. Ohle (1963) kiinnittääkin huomiota piihapon sekä raudan ja humuksen väliseen kompleksiin si-



toutumiseen. Pintavedessä sen sijaan noin kolmannes piistä oli tekemisissä biologisten toimintojen kanssa.

Viiden elektrolyyttimuuttujan jättäminen pois analyysistä on jo pinta- ja päälyysvedessä todettua selvemmin vaikuttanut keskiveden faktorirakenteeseen. Faktoriakselisto on kiertynyt muuttuneen avaruuden edellyttämään asentoon. Suolafaktori pitää kuitenkin vielä tässä supistetussakin ratkaisussa hallussaan ensimmäistä sijaa, tosin jo jaettuna. Elektrolyyttien merkitys veden laadulle on siten edelleen leimaa antava. Tästä syystä varsinaista uutta informaatiota on ratkaisussa saatu vain niukasti: Lämpötilan, hiilidioksidin ja hapen kommunaliteetit ovat tosin hieman kasvaneet, mutta johtokyvyn ja fosforin osalta on tulos heikompi; puhumattakaan viiden poisjätetyn muuttujan mukana menetetystä tiedosta.

Merkittävin muutos koko aineistolla saatuun ratkaisuun verrattuna on happifaktorin ( $F_2$ ) kuihtuminen vähäiseksi ja vaikeasti tunnistettavaksi jäännösfaktoriksi - vrt. alusveden  $F_4$ -faktoriin - sekä pH-faktorin ( $F_3$ ) vastaava voimistuminen biologisten toimintojen sinne tapahtuneen keskittymisen vuoksi suolafaktorin ( $F_1$ ) suuruiseksi. Tämä selittääkin yksin  $KMnO_4$ -kulutuksen ja hiilidioksidin sekä lähes yksin pH:n varianssia. Alkaliniteetin selittyminen on puolestaan jäänyt suolafaktorin harteille sinne tapahtuneen kaliumin keskittymisen myötä.

#### 4.33 Alusvesi

Järvisyvänteiden pohjan läheisen alusveden (2h-1) laatua kuvaavasta faktorimatriisista (taulukko 6) voidaan helposti havaita sen poikkeavan oleellisella tavalla erityisesti pinta- ja päälyysveden laadusta. - Pohjan vaikutusta ovat erityisesti painottaneet Ohle (mm. 1955) ja Mortimer (1971). - Alusveden laadun erilaisuutta onkin jo aikaisemmin korostettu mm. rikastumistapahtuman tarkastelun yhteydessä. Faktorirakenteessa se näkyy ennen muuta rautafaktorin nousuna ominaisarvoltaan suurimmaksi. Tähän on vaikuttanut biologisten toimintojen kytkeytyminen faktoriin niin, että aikaisemmin itsenäinen happifaktori on olennaisilta osiltaan sulautunut alusveden rautafaktoriin ( $F_1$ ). Neljänneksi faktoriksi on siten jäänyt niukkapiirteinen jäännösfaktori. Suolafaktorin prosentuaalinen osuus (36) ominaisarvojen summasta ei ole juuri pienentynyt keskivedessä todettuun (38) nähden, vaan sen merkityksen heikkeneminen aiheutuu rautafaktorin voimistumisesta. pH-faktorin pieneneminen on sen sijaan jo konkreettista.

Kommunaliteetteja tarkasteltaessa voidaan havaita orgaanisen aineksen sekä erityisesti hapen, hiilidioksidin ja pH:n mitatun yhteisvaihtelun väheneminen, mikä samalla niiden osalta merkitsee satunnaisten seikkojen vaikutuksen kasvua veden laatua määritettäessä. Sen sijaan matriisista todettava kiintoaineen ja pääravinteiden yhteisvarianssin suureneneminen on epäilemättä tulkittava näiden muuttujien merkityksen kasvuksi, mikä puolestaan lienee tälle vesikerrokselle tyypillisen rikastumistapahtuman seurausta.

Taulukko 6. Alusvettä (2h-1) kuvaavan aineiston rotatoitu faktorimatriisi.  
 Table 6. Rotated factor matrix for hypolimnic (2h-1) data.

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	h <sup>2</sup> <sub>j/4</sub>
Lämpötila <i>Temperature</i>				(,54)	,14 (,32)
Happi <i>Oxygen</i>	-,59 (-,40)	(-,33)		(-,48)	,47 (,58)
Hiilidioks. <i>Carbon dioxide</i>	,51 (,31)	-,46 (,42)	(,50)		,48 (,54)
Kiintoaine <i>Susp. solids</i>	,73 (,74)				,59 (,63)
Johtokyky ( $\mu_{18}$ ) <i>Conductivity</i>		-,83 (,79)			,89 (,73)
Alkalinit. <i>Alkalinity</i>	,52 (,42)	-,38 (,73)	,61		,81 (,81)
pH <i>pH</i>			,63 (-,62)		,42 (,45)
Väri <i>Colour</i>	,82 (,80)				,70 (,73)
KMnO <sub>4</sub> -kulutus <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>	,46 (,32)	-,48	-,45 (,71)		,65 (,67)
Kok. typpi <i>Total nitrogen</i>	,68 (,54)	-,37 (,59)	,31		,69 (,68)
Kok. fosfori <i>Total phosphorus</i>	,68 (,61)	-,31 (,41)			,59 (,58)
Kok. rikki <i>Total sulfur</i>		-,77			,71
Kalium <i>Potassium</i>		-,57 (,80)	,51		,69 (,69)
Kalsium <i>Calcium</i>		-,60		-,58	,72
Natrium <i>Sodium</i>		-,83			,72
Magnesium <i>Magnesium</i>		-,40	,33	-,69	,76
Kloridi <i>Chloride</i>	,33	-,74			,67
Rauta <i>Iron</i>	,85 (,83)				,73 (,76)
Pii <i>Silicon</i>	,45 (,38)			-,36 (,36)	,41 (,35)
Ominaisarvo <i>Eigen value</i>	4,50 (3,28)	4,30 (2,89)	1,76 (1,44)	1,28 (,91)	11,84 (8,52)
Ominaisarvo, % ominais- arvojen summasta <i>Eigen value %</i>	38 (38)	36 (34)	15 (17)	11 (11)	

Alusveden  $F_1$ - eli rautafaktoria tarkasteltaessa voidaan todeta, että faktori varsin suveenisti selittää raudan, värin, kiintoaineen ja hapen yhteisvarianssia (99, 96, 90 ja 74 %). Toisin sanoen nämä alkuperäismuuttujat ovat suurelta osin, so. latausten osoittamassa määrin, samansisältöisiä.  $F_1$ -faktori selittää myös 67 % kokonaistypen ja 78 % kokonaisfosforin yhteisvaihtelusta. Siitä huomataan, että pääravinteet kytkeytyvät alusvedessä paljon selvemmin kuin sen yläpuolisissa vesikerroksissa rauta-humuskompleksiin, jonka värin voimistuminen on täällä myös huomion arvoinen. Aikaisemmista rautafaktoreista puuttuva alkaliniteetin lataus, tässäkin tosin vain kolmannes kommunaliteetista, on ilmeinen seuraus edellä todetusta rauta-humuskomponenttien "yhdentymisestä", jota siten on pidettävä yhtenä alusvedelle oleellisena piirteenä. Faktorin positiivinen korrelaatio siinä oleviin alkaliniteetin ja hiilidioksidin latauksiin, kuten  $F_2$ -faktorissakin, aiheutuu epäilemättä orgaanisen aineksen hajoituksesta. Edellä todetusta kasautumisesta huolimatta faktori selittää kuitenkin vain kolmanneksen  $KMnO_4$ -kulutuksena mitatun orgaanisen aineksen yhteisvaihtelusta. Toisin sanoen  $KMnO_4$ :a, jonka sanotaan hapettavan humusaineista vain enintään puolet (Simm 1969), kuluttavien ainesten pääosa olisi vähäväristä, päinvastoin kuin ylemmissä vesikerroksissa. Tällä (vähävärisellä) faktorilla ei kuitenkaan näytä olevan yhteyttä hapen pitoisuuteen.

Suolafaktori ( $F_2$ ) selittää nimensä mukaisesti alusvedessäkin ensisijaisesti elektrolyyttimuuttujien sisältöä ja niiden latausten osuutta kaikkien muuttujien yhteisvarianssista. Varsinaisten elektrolyyttien joukossa oleva  $KMnO_4$ -kulutuksen lataus viittaa siihen, että osa orgaanisesta aineksesta (35 % kommunaliteetista) saattaa olla peräisin likaantumisesta, mikä havaittiin edellä myös keskiveden  $F_1$ -faktorista. - Toisaalta myös alusveden rautafaktorilla ( $F_1$ ) on juuri kirjaamisrajalla oleva johtokyvyn lataus (,29). - Tässä yhteydessä voidaan todeta, että  $F_3$ -faktorissa kalium ja magnesium korreloivat negatiivisesti faktorissa olevaan orgaaniseen ainekseen, toisin sanoen eivät olisi siihen kiinnittyneitä. Faktorin huomattava alkaliniteetin lataus (45 %) on epäilemättä seuraus sanottujen emästen läsnäolosta. Kalsiumin ja orgaanisen aineksen suhteesta ei voida sanoa samaa, joskin kalsiumilla, kuten magnesiumillakin on  $F_4$ -faktorin välityksellä yhteys (kompleksiin!) piihin. Myös tällä faktorilla on lähes kirjattava lataus johtokyvyssä.

$F_2$ -faktorista voidaan edelleen nähdä, että kokonaisrikki vaikuttaa myös alusvedessä ensisijaisesti elektrolyyttinä. Sulfaattien heikko adsorboituminen hiukkasiin (Ohle 1965) käy siten ilmi myös tästä tutkimuksesta. Samoin natriumin selittyminen muuna kuin elektrolyyttinä ei näytä analyysin mukaan mahdolliselta missään vesikerroksessa. Edelleen havaitaan alusvedessä vain vähäisen osan (15-20 %) ravinteista olevan luonteeltaan elektrolyyttejä.  $F_2$ -faktorin voidaan vielä todeta selittävän melkoisen osan (44 %) hiilidioksidista. Hapen kulumiseen faktorilla onkin lähes kirjattava osuus (,29).

Edellä hyvin tunnistettavasta pH-faktorista ( $F_3$ ), kuten jäännösfaktoristakin ( $F_4$ ) ei sanottuun ole enemmälti lisättävää. Merkille voidaan kuitenkin vielä panna yksi ilmeinen muutos yläpuolisiin vesikerroksiin verrattuna: pH:n selittymisen paino on siirtynyt orgaanisesta aineksesta alkaliniteettiin, mikä ilmentänee pohjan vaikutusta.

Alusvettä koskevasta supistetusta ratkaisusta (arvot sulkumerkkien sisässä) sen havaitaan odotettua vähemmän poikkeavan koko aineistolla saadusta. Tämä käy ilmi faktorien ominaisarvojen (%) muutoksista, jotka ovat vähäisiä verrattuina keskivedestä havaittuihin. Keskiveden laatuksitteessa voidaan epäilemättä, ylä- ja alapuolisten laadultaan "puhdaspiirteisempien" kerrosten ristivedon vuoksi, helpommin saada aikaan muutoksia esim. muuttujia valitsemalla. Eräiden elektrolyyttimuuttujien pois jättäminen ei näin ollen merkittävästi muuta alusveden laadusta koko havaintoaineiston avulla saatua kuvaa. Kuitenkin on todettava, että toimenpiteen ansiosta faktoreiden muuttunut sijainti selittää paremmin lämpötilan, hapen ja hiilidioksidin yhteistä vaihtelua ja ennen muuta kahden ensiksi mainitun keskinäistä yhteyttä, mutta huomommin mm. johtokykyä ja kokonaisfosforia. - "Lämpötilafaktori" ( $F_4$ ) selittäisi supistetun ratkaisun mukaan peräti 40 % hapen yhteisvarianssista. - Merkille pantavaa on kuitenkin, että lämpötilamuuttujan kaikissa syvyystasoissa vähäpätöinen kommunaliteetti ei suoritettulla elektrolyyttimuuttujien vähentämistoimenpiteellä oleellisesti suurene alusvedessäkään. Tämän vesien taloudessa tärkeäksi tiedetyn muuttujan, kuten erityisesti myös ravinteiden, edellistä merkittävämpi osuus laatuksitteiden hahmottamisessa edellyttää epäilemättä mittausten menetelmien tarkentamista.

#### 4.34 Tulosten tarkastelu

Faktorirakenteen samankaltaisuus merkitsee veden laadun samanlaisuutta käytettyjen parametrien tasavertaisen tarkastelun määrittelemissä puitteissa. Huomattavia eroja voi näin ollen olla ominaisuuksissa, joita ei ole mitattu ja sisällytetty laatuksitteeseen. Tällaisia voivat olla suoranaiset eliöstöä tai elinympäristön elinkelpoisuutta mittaavat muuttujat. Samantapaisia ominaisuuksia mittaavien parametrien lukuisuudesta on jo edellä todettu aiheutuneen kasautumista ja siten tässä tutkimuksessa nimenomaan suolafaktorin osuuden kasvua kaikkien muuttujien yhteisvarianssista. Analyysistä on kuitenkin käynyt ilmi, että saman muuttujan sisältö eri syvyystasoissa voi vaihdella, jolloin esim. muuttujajoukon supistaminen johtaa halutun tiedon vähentymiseen. Kieltämättä elektrolyyttien yleisestä mittausten runsaudesta aiheutuu korostumista, joka on omiaan estämään etäämpänä fakto-reista mahdollisesti olevien parametrien vaikuttamisen laatuun eli faktorirakenteeseen.

Oleellista asiassa on epäilemättä kuitenkin havainnoinnin motivointi ja siitä johtuva muuttujien valinta. Kun tämänkin tutkimuksen perustana olevalla havaintopaikkaverkolla pyritään ennen muuta saamaan selville - fysikaalisia ja kemiallisia menetelmiä käyttäen - ihmisen kasvavan vaikutuksen suunta ja nopeus vesistöissä, on ymmärrettävää, että tämä ensikädessä tapahtuu tarkkailemalla mm. niiden aineiden pitoisuuksia, joita vesiin tiedetään ihmisen toimesta joutuvan runsaasti. Tässä esitetty faktorirakenne kuvaa ja korostaa näin ollen paljolti vesien tilan valvojan näkemystä laadusta niin, että muutosten lähinnä uhkaamat tai käytännössä muutoin erottaviksi todetut karakteristikat ovat vaikuttamassa tulokseen.

Verrattaessa järvisyvänteiden päällysvädestä (5 m) edellä esitettyjä faktoroinnin tuloksia

virtahavaintopaikoilta eri vuodenaikoina tehtyihin havaintoihin perustuvan vastaavan analyysin tuloksiin (liite 7) voidaan havaita faktorirakenteiden ilmeinen samankaltaisuus. Niinpä faktorit ovat samoin nimettävissä (tulkinnallisesti samoja) ja niiden ominaisarvojen mukainen suuruusjärjestys on sama. Samankaltaisuus käy myös ilmi siitä, että jos syvännehavaintopaikkojen veden laadun mittaamisessa käytetty muuttujajoukko haluttaisiin su-pistaa faktoreiden päälatausten ilmaisemalla tavalla mahdollisimman pieneksi, niin olisi tämä neljän tärkeimmän muuttujan joukko (johtokyky,  $\text{KMnO}_4$ -kulutus, rauta ja hapen kyl-lästyminen, joka edellyttää lämpötilan tuntemista) varsin edustava myös virtahavainto-paikkojen tarkkailussa. Sama pätee myös päinvastoin, joskin virtahavaintopaikkojen fakto-roinnin perusteella yksinkertaistettu laadun mittaustapa on jo useammasta (6) faktorista johtuen moniulotteisempi: johtokyky, pH, kiintoaine, enterokokit, hapen kyllästyminen ja kloridi.

Edellä sanottu ei kuitenkaan merkitse sitä, etteikö järvien ja virtaavien vesien laadun yksityiskohdissa olisi runsaastikin eroja. Näistä oleelliset lienevät kommunaliteetteja koskevat, joista heijastuvat toisaalta virtaaville vesille ja toisaalta järvi-altaille ominai-siksi tiedetyt piirteet. Matriiseja esittävistä taulukoista (3-6 ja liite 7) voidaan nähdä, että järvi-altaiden päällysvedessä hapen kyllästymisen, alkaliniteetin ja värin yhteinen vaihtelu on paljon voimakkaampaa kuin virtaavissa vesissä. Kiintoaineen, kokonaistypen, kalsiumin ja magnesiumin yhteinen vaihtelu on taas tarkastellulla muuttujakoostumuksella jär-vivesissä vähäisempää. Epäilemättä onkin niin, että virtaava vesi mahdollistaa juuri hapen ja värin erityis- ja virhevaihtelun osuuden kasvamisen. Kun taas erityisesti kiinto-aineen mutta myös useiden muiden muuttujien määritysten alarajaa lähentelevät pitoisuu-det järvien päällysvedessä suosivat satunnaisten seikkojen vaikutuksen lisääntymistä. Kum-mankin analyysin perusteella on edelleen ilmeistä - molemmissa tapauksissa varianssi koostuu lähes kokonaan satunnaisvaihtelusta - että nykyiset menetelmät eivät ole riittävän tarkkoja talviaikaisen päällysveden lämpötilojen mittaamiseen. Eri syvyystasojen veden laadun väliset oleelliset erot käyvät ilmi faktorirakennetta kuvaavasta taulukosta (7).

Taulukko 7. Faktorirakenne.  
Table 7. Factor construction.

	Ominaisarvo % Eigen value %			
	1 m	5 m	h	2h-1
Suolafaktori <i>Salt factor</i>	52	47	38	36
pH-faktori <i>pH-factor</i>	21	21	22	15
Rautafaktori <i>Iron factor</i>	19	17	18	38
Happifaktori <i>Oxygen factor</i>	8	15	22	11
	100	100	100	100

Siinä esitetyistä ominaisarvoista, jotka ilmaisevat faktorien osuudet kaikkien muuttujien yhteisvaihtelusta, voidaan yhteenvedona päätellä seuraavaa:

1. Pinta- (1 m) ja päänlyysvesi (5 m) ovat laadultaan suurehkojen järvien pääsyvänteissä loppupalvella varsin samankaltaisia määräävässä asemassa olevine suolafaktoreineen. Pintavedessä happifaktorin osuus on kuitenkin ilmeisen vähäinen ja päänlyysvedessä havaitaan suolafaktorin jo selvästi pienentyneen.
2. Keskivedessä (h) sekä pH- että rautafaktorin osuus veden laadusta on pysynyt muuttumattomana yläpuolisiin vesikerroksiin verrattuna. Sen sijaan suolafaktorin merkitys on oleellisesti pienempi - vastaa alusvedessä vallitsevaa alemmaa tasoa - happifaktorin ollessa suurimmillaan. Muutoksien on katsottu ilmentävän altaassa tapahtuvaa veden vanhenemista.
3. Pohjan läheisen alusveden (2h-1) laatu eroaa muista selvimmin suurimmaksi kasvanneen rautafaktorin vuoksi. Vastaavasti on niin pH- kuin happifaktorinkin merkitys oleellisesti pienentynyt.

## 5. HAVAINTOPAIKKOJEN RYHMITTELY

### 5.1 RYHMITTELYANALYYSISTA

Ryhmittelyanalyysilla, kuten nimestä jo on pääteltävissä, pyritään havaintojen joukko jakamaan alaryhmiin, jotka ovat sisäisesti mahdollisimman yhdenmukaisia. Periaatteena suoritettua analyysissa on, että perusjoukko jaetaan kahteen tai useampaan osajoukkoon siten, että ryhmien sisäiset varianssit ovat mahdollisimman pieniä ja ryhmien väliset varianssit mahdollisimman suuria. Menetelmä on iteratiivinen, jossa tietystä alkuryhmityksestä lähtien pyritään kokeellisesti löytämään paras mahdollinen ryhmitys (McQueen 1966). Ryhmittelyn hyvyttä ilmentää nk. "distance"-luvun suuruus eli ryhmän havaintojen keskimääräinen etäisyys ryhmän keskipisteestä.

Tutkittavan joukon mielekäs jakaminen edellä tarkoitettunlaisiin alaryhmiin edellyttää itse asiassa tällaisten ryhmien enemmän tai vähemmän kätkeytyä olemassaoloa. Näin ollen analyysin kannalta olisi ihanteellista, jos ryhmien lukumäärä voisi vaihdella riippuen joukon rakenteesta tarkasteltavan parametrin suhteen. - Toisaalta ryhmittelyn tai luokituksen tarkoitus voi jo yksinään määrätä ryhmien tai luokkien lukumäärän, esim. jako kelvolliseen ja kelpaamattomaan. - Tämä ei kuitenkaan ollut nyt käsillä olevassa tapauksessa tarkoituksen mukaista.

Ryhmittelyanalyysin käytön tarkoituksena oli selvittää, olisiko keskisyvyydeltä (h) mitattujen muuttujien koko havaintoajan keskiarvojen muodostama joukko jaettavissa viiteen ryh-

mään analyysin edellyttämällä tavalla. Haluttiin nähdä, miten havainnot ryhmittyvät 5-jakoa (mm. Kolkwitz 1950 ja Sládeček 1963) käyttäen, ja mitkä ovat ryhmien rajat lähinnä vesien laatuluokittelua koskevia kaavailuja silmällä pitäen (vrt. esim. Statens naturvårdsverk 1969), ja mikä on heikoimman, jo pilaantuneisuutta indikoivan ryhmän suuruus.

## 5.2 TULOKSET

Analyyysin tulokset on esitetty tiivistettynä taulukossa 8. Kuvissa 56-69 on lisäksi esitetty muuttujien ryhmittyminen havaintopaikoittain, joita laskennassa on ollut mukana kaikkiaan 139.

Taulukosta on yleisesti todettavissa, että painopiste on selvästi "puhtaammassa päässä", so. pienien pitoisuuksien luonnehtimissa ryhmissä 1 ja 2. Näissä on yhteensä lähes 70 % havaintopaikoista, kun sen sijaan suurten pitoisuuksien ryhmissä 4 ja 5 vastaava prosenttiluku on vain 12. Tämä aiheutuu epäilemättä ensi sijassa siitä, että tarkastelun kohteena olevien, yleensä suuriksi katsottavien järvi-altaiden vesimassojen pääosa on vielä vähän "häiriintynyttä". Huomattava lienee myös edellä tarkastellun rikastumistapahtuman merkitys: Ovathan 1. ryhmässä lukuisimpina esiintyvät muuttujat juuri niitä, jotka selvimminkin ilmentävät tätä tapahtumaa. Näin ollen tämä ryhmittely ei sovellu alusvesinäytteiden tarkasteluun.

Ryhmittymisessään selvimminkin etupainoiset muuttujat ovat rauta,  $\text{KMnO}_4$ -kulutus, kokonaishosfori ja hiilidioksidi. Näistä poikkeaa ehkä eniten kokonaistyyppi sekä sitä vähemmän alkaliniteetti, kloridi ja kokonaishikki, joilla painopiste on 2. tai 3. ryhmässä. Värien vaihteluun perustuvat ryhmät ovat kooltaan varsin samansuuruisia, 5. ryhmää lukuun ottamatta. Tämän ryhmän, johon havaintopaikkoja kuuluu taulukon mukaan keskimäärin 3,3 prosenttia, on katsottava edustavan useiden käyttötarkoitusten kannalta pilaantuneiksi luettavia vesiä. Suurin prosenttiluku tässä ryhmässä on 7 (happipitoisuus), jota määrää lienee näin ollen pidettävä voimakkaan likaantumisen ylärajana suurehkoilla järvillä.  $\text{O}_2 \geq 30\%$  mukaan tehdyssä ryhmittelyssä 5. ryhmän osuus on myös 7 prosenttia. Jos tarkastellaan koko vesipilaria, eikä vain sen keskikohtaa kuten edellä, päädytään 9 prosenttiin. Tämä ilmenee  $\text{O}_2 \geq 70\%$ -kerroksen osuuteen koko vesipilarista perustuvaan ryhmittelyyn:

1	2	3	4	5	
>75	75-54	53-33	32-13	<13	
41	26	15	9	9	%

Jaatinen (1971) on eri tietä päätynyt toteamaan sisävesistämme pilaantuneiksi 10-15 %.

Kuvista 56-69, joissa on havaintopaikoittain esitetty edellä tarkoitettu ryhmittely, on odotetusti nähtävissä samoja asioita mutta yksityiskohtaisemmin kuin edellä keskiarvoja esit-

Taulukko 8. Keskisyvyyden (h) 1965-1970 keskiarvojen ryhmittyminen viiteen homogeeniseen ryhmään.  
 Table 8. Grouping the 1965-1970 averages from the middle depth (h) into five homogeneous groups.

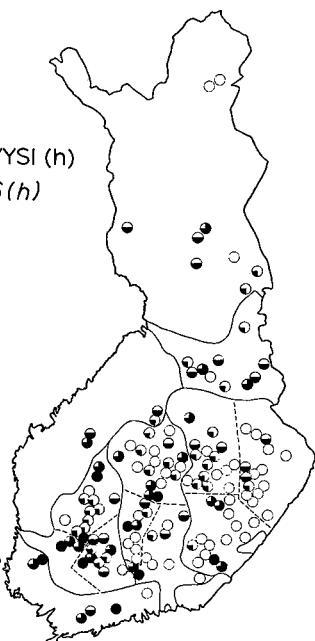
	1	2	3	4	5
	%	%	%	%	%
Happi <i>Oxygen</i>	>81	81-73	72-61	60-33	<33
Hilidioks. <i>Carbon dioxide</i>	mg/l	4,5-7,9	8,0-13,9	14,0-29,3	>29,3
Kiintoaine <i>Susp. solids</i>	mg/l	0,7-1,4	1,5-2,9	3,0-7,5	>7,5
Johtokyky ( $\kappa_{18}$ ) <i>Conductivity</i>	$\mu S$	29-43	44-71	72-120	>120
Alkalinit. <i>Alkalinity</i>	mval/l	0,10-0,16	0,17-0,29	0,30-0,62	>0,62
Väri <i>Colour</i>	mg/l Pt	25-44	45-68	69-125	>125
KMnO <sub>4</sub> -kul. <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>	mg/l KMnO <sub>4</sub>	37-63	64-124	125-257	>257
Kok. typpi <i>Total nitrogen</i>	mg/l N	0,2-0,4	0,5-0,7	0,8-1,5	>1,5
Kok. fosfori <i>Total phosphorus</i>	γ/l P	11-24	25-54	55-137	>137
Kok. rikki <i>Total sulfur</i>	mg/l S	1,7-3,1	3,2-6,4	6,5-12,8	>12,8
Kloridi <i>Chloride</i>	mg/l	<2,0	3,4-5,3	5,4-9,5	>9,5
Rauta <i>Iron</i>	mg/l	<0,2	0,5-0,8	0,9-1,8	>1,8



KUVA  
FIG. 56

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

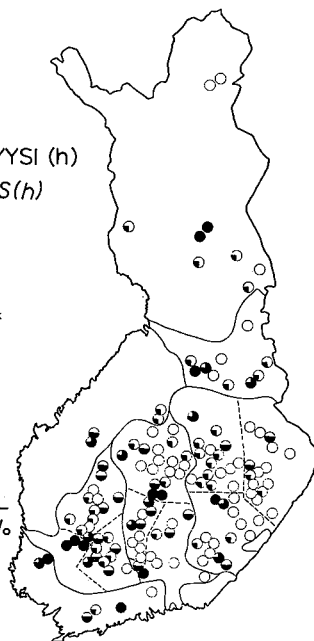
HAPPI OXYGEN KYLÄ -°% % SAT.	
● < 33	7
● 33-60	15
● 61-72	17
● 73-81	23
○ > 81	38
	100%



KUVA  
FIG. 57

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

HAPPI OXYGEN $O_2 \geq 70\%$ <sup>(x)</sup>	
● < 13	9
● 13-32	9
● 33-53	15
● 54-75	26
○ > 75	41
	100%

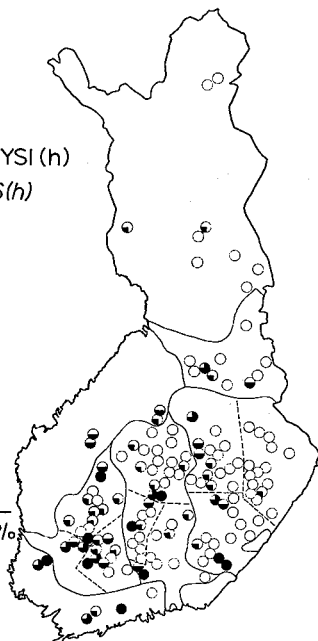


<sup>(x)</sup> Sen vesikerroksen paksuus % koko syvyydestä, jossa hapen kyll.  $\geq 70\%$ .  
The depth of that water mass where the oxygen saturation percentage is  $\geq 70\%$  shown as a percentage of the total depth.

KUVA  
FIG. 58

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

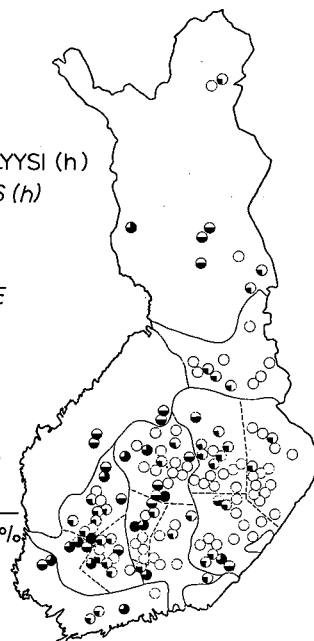
HAPPI OXYGEN $O_2 \geq 30\%$ <sup>(x)</sup>	
● < 51	7
● 51-75	6
● 76-87	10
● 88-96	19
○ > 96	58
	100%



KUVA  
FIG. 59

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

HIILIDIOKSIDI CARBON DIOXIDE mg/l	
● > 29,3	2
● 14,0-29,3	8
● 13,9-8,0	14
● 7,9-4,5	27
○ < 4,5	49
	100%



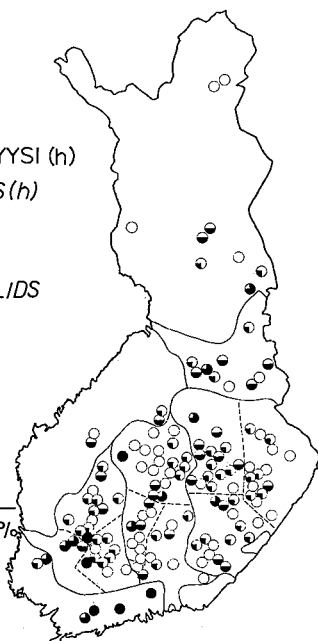
<sup>(x)</sup> Sen vesikerroksen paksuus % koko syvyydestä, jossa hapen kyll.  $\geq 30\%$ .  
The depth of that water mass where the oxygen saturation percentage is  $\geq 30\%$  shown as a percentage of the total depth.

KUVA  
FIG. 60

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

KIINTOAINE  
SUSPENDED SOLIDS

mg/l	
●	> 7,5      4
●	3,0 - 7,5    7
●	1,5 - 2,9    19
●	0,7 - 1,4    35
○	< 0,7       35
<hr/>	
100%	

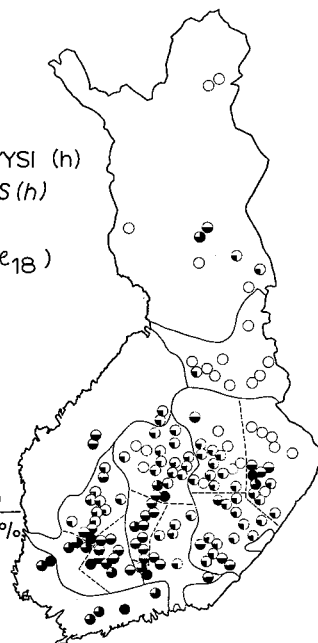


KUVA  
FIG. 61

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

JOHTOKYKY ( $\kappa_{18}$ )  
CONDUCTIVITY

$\mu S$	
●	> 120      5
●	72 - 120    10
●	44 - 71     24
●	29 - 43     41
○	< 29        20
<hr/>	
100%	

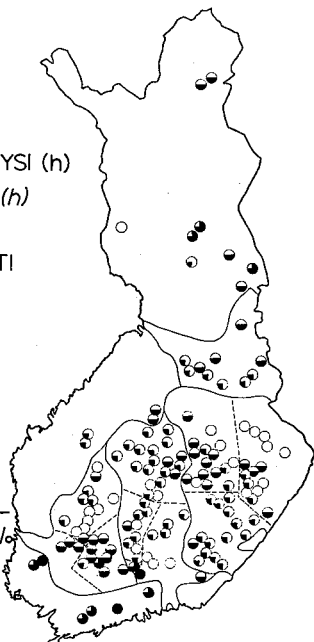


KUVA  
FIG. 62

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

ALKALINITEETTI  
ALKALINITY

mval/l	
●	> 0,62      2
●	0,30 - 0,62    6
●	0,17 - 0,29    31
●	0,10 - 0,16    42
○	< 0,10       19
<hr/>	
100%	

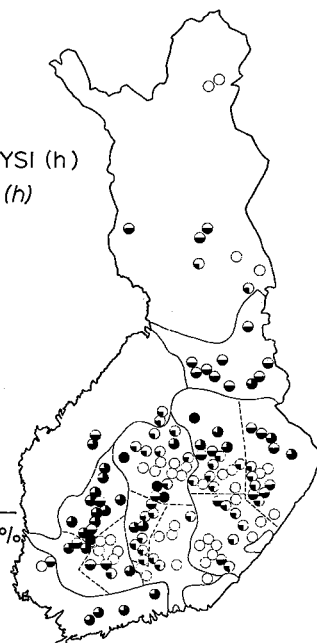


KUVA  
FIG. 63

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS (h)

VÄRI  
COLOUR

mg/l Pt	
●	> 125      4
●	69 - 125    19
●	45 - 68     22
●	25 - 44     26
○	< 25        29
<hr/>	
100%	

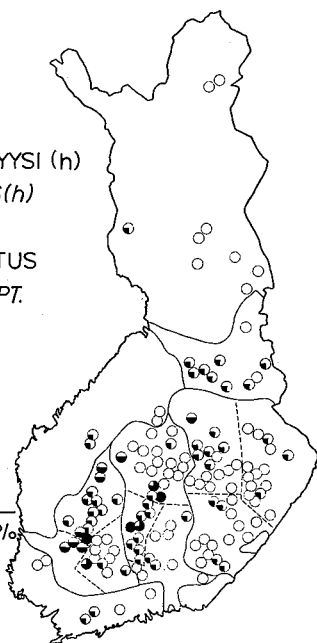


KUVA  
FIG. 64

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

KMnO<sub>4</sub>:n KULUTUS  
KMnO<sub>4</sub> CONSUMPT.

mg/l	
●	>257 2
●	125-257 2
●	64-124 6
○	37-63 35
○	< 37 55
<hr/>	
100%	

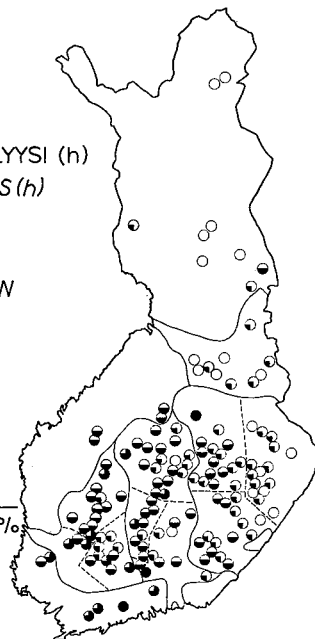


KUVA  
FIG. 65

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

KOK. TYPPI  
TOTAL NITROGEN

mg/l N	
●	>1,5 2
●	0,8-1,5 9
●	0,5-0,7 40
○	0,2-0,4 34
○	< 0,2 15
<hr/>	
100%	

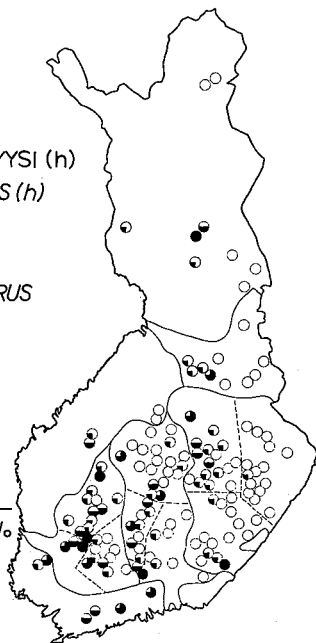


KUVA  
FIG. 66

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

KOK. FOSFORI  
TOTAL PHOSPHORUS

µg/l P	
●	> 137 4
●	55-137 7
●	25- 54 12
○	11- 24 26
○	< 11 51
<hr/>	
100 %	

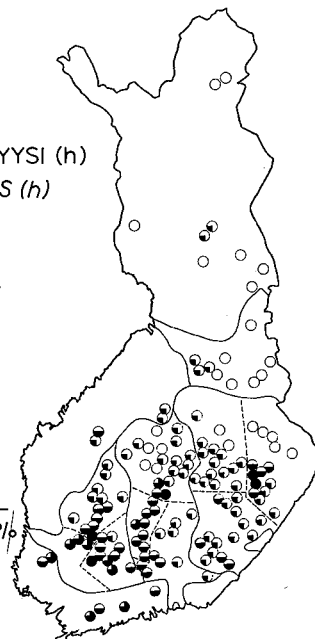


KUVA  
FIG. 67

RYHMITTELYANALYYSI (h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

KOK. RIKKI  
TOTAL SULFUR

mg/l S	
●	>12,8 4
●	6,5-12,8 7
●	3,2- 6,4 26
○	1,7- 3,1 44
○	< 1,7 19
<hr/>	
100 %	



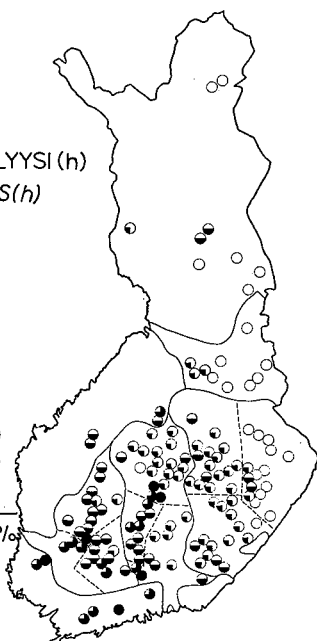
KUVA  
FIG. 68

RYHMITTELYANALYYSI(h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

KLORIDI  
CHLORIDE

mg/l

●	>9,5	4
●	5,4-9,5	11
●	3,4-5,3	29
●	2,0-3,3	37
○	2,0	19
		100%



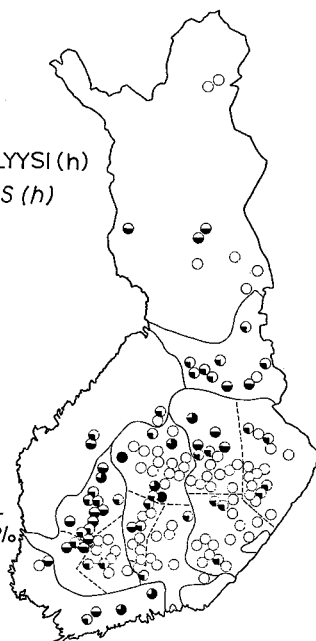
KUVA  
FIG. 69

RYHMITTELYANALYYSI(h)  
GROUPING ANALYSIS(h)

RAUTA  
IRON

mg/l

●	>1,8	1
●	0,9-1,8	4
●	0,5-0,8	14
●	0,2-0,4	25
○	<0,2	56
		100%



tävistä kuvista. Niinpä eräiden yksittäisten havaintopaikkojen selvästi ympäristöstä poikkeavan likaantuneisuuden ohella voidaan havaita pitoisuuksien yleensä pienenevän etelästä pohjoiseen ja lännestä itään. Vastaavasti vesistöjen puitteissa havaitaan alueittaista ryhmittymistä, joka siten täydentää keskiarvon ja -hajonnan antamaa tietoa.

## 6. TIIVISTELMÄ

Tutkimus perustuu vesiviranomaisen suurien tai suurehkojen järvien pääsyvänteistä vuosina 1965-1970 maaliskuun loppupuoliskolla ottamiin näytteisiin. Havaintopaikkoja on vuosittain ollut keskimäärin käytössä 155 (kuva 1). Kun kysymyksessä on ollut syvänteiden tutkiminen, on painopiste ollut tästä syystä Järvi-Suomessa. Koko vähäjärvisen rannikon ja Lapin osuudeksi on tullut siten vain 28 havaintopaikkaa. Tutkimus perustuu kaikkiaan 65 771 analyysiin ja 875 havaintopaikalla käyntiin.

Veden keskimääräiset pitoisuudet maaliskuussa koko maassa on esitetty taulukossa 1. Siitä on tehty mm. seuraavat johtopäätökset:

- Veden laatua kuvaavien muuttujien pitoisuudet 1 m syvyydessä poikkeavat varsin vähän 5 m syvyydessä havaituista. Pintaveden pitoisuudet ovat väkevöitymisen vuoksi usein hie-  
man suurempia.

- Keskiveden (h) pitoisuudet ovat 10 % yläpuolisia suurempia, kokonaisfosforin kuitenkin tuntuvasti tätä enemmän. Keskiveden hapen vajuus on 30 %.
- Alusveden (2h-1) keskimääräinen hapen vajuus on 63 % ja sen vesikerroksen paksuus prosentteina koko syvyydestä, jossa hapen kyllästysprosentti on <10, on kuusi. Alusveden huomattava rikastuminen nimenomaan fosforilla ja raudalla on tosiasia, joka osoittaa pohjalietteen tapahtuneen varastoitumisen heikentyneen oleellisesti seurannan kohteena olleilla suurehkoilla tai suurilla järvillä.
- Veden laadusta saadaan varsin erilainen käsitys riippuen siitä tarkastellaanko järvi-altaissa olevaa vaikevirtaavaa vettä. Suurimmat erot ovat järvi-altaissa sedimentoituvien raudan, kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuuksissa. Virtaavien vesien keskimääräinen laatu muistuttaakin monessa suhteessa syvänteissä olevaa rikastunutta alusvettä.

Elektrolyyttien pitoisuuksista (kuvat 4-22) eri vesistöryhmissä on voitu todeta, että ne pienenevät etelästä pohjoiseen ja lännestä itään noudattaen virtahavaintopaikkojen tutkimuksessa havaittua suuntaa. Vesistöryhmien väliset erot, kuten pitoisuudetkin ovat järivistä tehtyjen havaintojen perusteella kuitenkin vähäisempiä, rikastuneita alusvesiä lukuun ottamatta. Sama pätee myös muihin muuttujiin nähden. Alkaliniteetin rikastuminen, jonka on suoranaisesti katsottu osoittavan pohjan vaikutusta, on elektrolyyteistä voimakkainta. Myös elektrolyyttien väkevöityminen pintaveteen on nimenomaan sisämaassa vähäistä. Alkaliniteetin rikastumisen perusteella on arvioitu, että pohjalietteen osuus alusveden happivajaukseen on Vuoksen vesistön syvänteillä 56, Kymijoen 53 ja Kokemäenjoen jo peräti 90 %.

Pinta- ja päällysveden kiintoainepitoisuudet ovat eri allasryhmissä lähes saman suuruisia, lukuun ottamatta etelä- ja lounaisrannikkoja, missä yleinen savisamennus vaikuttanee pitoisuuksiin myös talvella. Alusvedestä suodattamalla määritetyn "kiintoaineen" usein jo voimakkaasti rikastuneissa pitoisuuksissa on huomattavia eroja myös eri vesistöryhmien ja näiden osa-alueiden välillä. Sama pätee raudan rikastumiseen ja siitä aiheutuviin merkittäviin pitoisuuseroihin nähden. Niin rikastumis- kuin väkevöitymiskertoimistakin on päätelty raudan olevan oleellisesta merkityksestä järvien ainetaloudessa. Rikastumisen voimakkaan kasvun mm. Vuoksen vesistön eteläosassa ja Päijänteellä on katsottu osoittavan mobilisoitumisen tehostumista pohjalietteestä. Pintaveteen tapahtuva väkevöityminen ilmenee sen sijaan voimakkaampana vesistöjen yläosissa, missä vesi on "nuorta".

Veden värin osalta (kuvat 31-32) on todettu mm. sen läheinen yhteys rautaan: Korrelaatiokerroin päällysvedessä ,81 ja alusvedessä ,71. Samoin rikastumisen ilmeinen merkitys, joskaan kertoimet eivät ole aivan raudan luokkaa. Huomioita on kohdistettu vielä mm. Vuoksen vesistössä ilmenevään keskiveden värin, raudan ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen arvojen pienemmyyteen jopa päällysveteen verrattuna, ja otaksuttu kysymyksessä olevan veden altaassa tapahtuvalle ikääntymiselle oleellinen piirre: Keskiveden köyhtyminen humus-rautakompleksissa tapahtuneen purkautumisen seurauksena. Humuksen fraktioitumiseen viittaa epäilemättä myös  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen ja värin suhteessa eri syvyystasoissa ilmenevä vaihtelu. Kemiallisena hapenkulutuksena mitattu alusveden rikastuminen onkin oleellisesti värin vastaavaa pienempi.

Syvänteiden veden hapen pitoisuutta osoittavista keskiarvoista (kuvat 41-42) on voitu havaita, että

- alusveden hapen vajoaus on kaikissa ryhmissä huomattavan suuri, yleensä enemmän kuin 50 prosenttia. Järviemme yleinen pilaantumisalttius on ilmeinen
- keskimääräisessä syvänteessä on happea alle 70 prosenttia kyllästysarvosta peräti 4/10 osassa sen paksuudesta
- suurin vajoaus (75 %) on etelä- ja lounaisrannikolla sekä Kokemäenjoen vesistössä, missä myös ympäristön paine on tunnetusti voimakas.

Kokonaisfosforin pitoisuuksista (kuvat 45-46) eri vesistöryhmissä ja syvyystasoissa käy ilmi muuttujan oleellinen merkitys vesien tapahtumiin. Rikastumiskertoimet, jotka ovat samansuuruisia niin Vuoksen vesistön eteläosassa ja Päijänteellä kuin ihmisen selvimmin leimaamassa Kokemäenjoen vesistössäkin, ovat raudan luokkaa. Kokonaisfosforin väkevöitymistä (20 %) pintaveteen on myös pidettävä huomion arvoisena. Etelä- ja lounaisrannikko, Kokemäenjoen vesistö sekä osia Kymijoen vesistön eteläosasta, Päijänne mukaan luetuna, erottuu alusveteen rikastuneen fosforin runsauden perusteella muusta Suomesta. Pienimmät pitoisuudet ovat Vuoksen vesistön itäisessä haarassa, mihin verrattuina läntisen haaran kokonaisfosforin pitoisuudet erityisesti päällimmäisissä vesikerroksissa ovat suuria. Kokonaisfosforin pitoisuuksista (kuva 49), ilmaistuina prosentteina kokonaistypen pitoisuuksista, käy selvästi ilmi toisaalta fosforin yleinen niukkuus tyypeen verrattuna, nimittäin päällimmäisissä vesikerroksissa ja toisaalta pohjan läheisissä vesikerroksissa tapahtuva fosforin latautuminen. Fosforin ja typen pitoisuuksien suhteessa ilmenevän vaihtelun todetaan aiheutuvan pääasiassa fosforin pitoisuuden vaihtelusta. Epäilemättä pohjasedimenttiin pidähtyneiden aineiden merkitys järviälaiden veden laadulle on nopeasti kasvamassa.

Syvänteiden pohjan (kuvat 54-55) orgaanisen aineksen pitoisuus näyttää suurenevan rannikolta sisämaahan päin. Myös rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat pienimmillään maan etelä- ja lounaisosissa, kuten myös kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet. Pohjalietteestä tapahtuva purkautuminen saattaa olla tähän syynä. Suurimmat pohjalietteen keskimääräiset kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet ovat alueilla, missä vesi on köyhintä. Analysoiduista muuttujista ainoastaan sinkin pitoisuudet näyttävät seuraavan ihmisen toimintojen liissäntymistä ympäristössä.

Havaintoajan (6 vuotta) lyhydestä huolimatta tarkasteltiin ryhmitettyä aineistoa myös veden laadussa mahdollisesti ilmenevien muutosten selville saamiseksi. Joskaan selvää trendiä ei tarkkailujakson aikana ollut havaittavissa, lienee kuitenkin eräitä useissa vesistöryhmissä havaittuja seikkoja pidettävä oireina tapahtuvasta "vanhenemisesta". Tällaisina on ensi sijassa mainittava pohjan läheisen alusveden rautapitoisuuden ja värin vuosikeskiarvojen suureneminen samoin kuin johtokyvyn ja kloridien keski- ja minimiarvojenkin suureneminen. pH:n alenemiseen tai rikkipitoisuuden kasvuun viittaavaa ei sen sijaan todettu.

Tarkasteltu faktorirakenne (kuvat 3-6) kuvaa vesien tilan valvojan näkemystä veden laadusta. Seurantahan tapahtuu muutosten lähinnä uhkaamia tai muutoin erottaviksi todettuja

karakteristikoja käyttämällä. Näin ollen myös elektrolyyttien mittausten runsaudesta aiheutuu korostumista, joka saattaa estää etäämpänä faktoreista mahdollisesti olevien parametrien vaikuttamisen veden laatuun eli sen faktorirakenteeseen.

Eri syvyystasojen veden laadun väliset oleelliset erot käyvät ilmi faktorirakennetta kuvaavasta taulukosta (7):

- Pinta (1 m)- ja päällysvesi (5 m) ovat suurehkojen järvien pääsyvänteissä loppupalvella laadultaan varsin samankaltaisia määräävässä asemassa olevine suolafaktoreineen. Pinta-vedessä happifaktorin osuus on vähäinen. Päällysvedessä on suolafaktori jo selvästi pienentynyt.
- Keskivedessä (h) sekä pH- että rautafaktorin osuus veden laadusta on pysynyt muuttumattomana yläpuolisiin vesikerroksiin verrattuna. Sen sijaan suolafaktorin merkitys on oleellisesti pienempi - vastaa alusvedessä vallitsevaa alempaa tasoa - happifaktorin ollessa suurimmillaan. Muutoksien on katsottu ilmentävän altaassa tapahtuvaa veden vanhene- mista.
- Pohjan läheisen alusveden (2h-1) laatu eroaa muista selvimmin suurimmaksi kasvaneen rautafaktorin vuoksi. Vastaavasti on niin pH- kuin happifaktorinkin merkitys pienentynyt.

Ryhmittelyanalyysia käyttämällä on muuttujajoukko jaettu viiteen alaryhmään (kuvat 56-69), jotka ovat sisällöltään mahdollisimman homogeenisiä. Tulokset, jotka on esitetty tiivistettynä taulukossa 8, perustuvat keskiveden laatuun. Suureksi katsottavien järvien vesimassojen pääosan havaitaan olevan vielä vähän häiriintynyttä: Ryhmiin 1 ja 2 sisältyy lähes 70 prosenttia havaintopaikoista. 5. ryhmään, joka epäilemättä edustaa jo pilaantuneiksi luettavia vesiä, sisältyy happipitoisuutta kuvaavan suurimman prosenttiluvun perusteella seitsemän prosenttia havaintopaikoista. Jos tarkastellaan koko vesipatsasta päädytään yhdeksään prosenttiin.

## Summary

Observations on lake deeps by the water authority in March 1965-1970

The study is based on the data gathered by the water authority from the main deeps of the large or fairly large lakes during the latter part of March in 1965-1970. An average of 155 research stations has been employed during the investigation (Fig. 1). As the deeps have been the object of the study the observations have mainly been concentrated on Lake Finland. The share of coastal regions with few lakes and Lapland has thus been limited to 28 research stations only.

The study covers altogether 65 771 analyses and 875 calls at the research stations.

The mean water quality in the whole country in March has been shown in Table 1. The following conclusions have been drawn from it:

The contents of the variables reflecting water quality in the depth of 1 meter level differ fairly little from those observed in the depth of 5 meter level. The contents in surface waters are often, in consequence of the concentration, a little higher. The contents of the middle depth level (h) are 10 per cent greater than those of the overlying levels, except total phosphorus, which is considerably over 10 per cent. The mean oxygen deficit in the near bottom hypolimnion (2h-1) is 63 per cent, and the depth of that water mass, where oxygen saturation percentage is <10, is six. The marked phosphorus and iron enrichment is a fact, which shows that the accumulation in the bottom mud has decreased substantially in the observed fairly large or large lakes. The impression of the regional water quality greatly depends on whether the river or the lake water is observed. The differences are the biggest in iron, total phosphorus and suspended solid contents which are susceptible to sedimentation in lake basins. Accordingly, the quality of running waters is in many respects similar to that concentrated in the near bottom hypolimnion.

Electrolyte contents (Fig. 4-22) in different groups of water courses can be clearly noticed to decline from south to north and west to east which course was also characteristic of running waters. The differences between various groups of water courses, like electrolyte contents, are smaller, though. The results from the lakes show this, with the exception of enriched hypolimnic waters. This applies also to the other quality parameters. The enrichment of alkalinity, which has directly been seen to point to the influence of the bottom sediment, is the most effective of all the electrolytes. Especially in inland lakes the concentration of the electrolytes in surface waters is slight, too. Based on the results of alkalinity enrichment, it is estimated that bottom sediment causes 56 per cent of hypolimnic oxygen deficit in Vuoksi, 53 per cent in Kymijoki and up to 90 per cent in Kokemäenjoki water course.

The suspended solids contents of surface and epilimnic waters are almost of the same size in different groups of water courses excluding south and south-west coastal area, where the frequent unsettled clay particles may affect the contents also in winter. In the strongly enriched contents of "suspended solids" in hypolimnic waters analysed by filtering there are great differences also between various groups of water courses and between their subgroups. The same applies to the enrichment of iron and to the remarkable differences in contents caused by it. That iron is of essential importance to the material economy of the lakes can be concluded from both concentration coefficients. The noticeable increase of hypolimnic enrichment in the southern part of Vuoksi water course and in Lake Päijänne has been considered to indicate a heightened mobilization from the bottom sediment. The concentration of contents in surface waters, however, becomes stronger in the upper part of the water courses, where the water is "young".

The close relation of the colour of the water to iron (Fig. 31-32) has been noticed: The correlation coefficient in the epilimnic water layer is ,81 and in hypolimnic ,71. The enrichment is also of great importance even though the coefficients are not quite of the same order with iron. In the Vuoksi water course attention has furthermore been paid among other things to the reduced contents of colour, iron and  $\text{KMnO}_4$  consumption in the middle depth even compared with those in epilimnic water layer. The incident is assumed to be characteristic of the water growing old in basins: The water in the middle depth layer is impoverishing because of the discharge of iron-humus complex. The variation seen in the relation between  $\text{KMnO}_4$  consumption and water colour in different depth layers is undoubtedly pointing to the fractioning of humus. The enrichment of the near



bottom hypolimnic waters measured as chemical oxygen demand is accordingly markedly lower than the one measured as colour.

From the averages showing oxygen content in the main deeps (Fig. 41-42) it has been possible to see that the oxygen deficit in all groups of water courses is remarkably great, generally more than 50 per cent. Our lakes' common susceptibility to decay is obvious. In the lake main deeps the oxygen content is less than 70 per cent of saturation in as much as four tenths of its thickness. The greatest deficit (75 %) is to be noticed in the southern and south-western coastal area and in Kokemäenjoki water course where also environmental pressure is known to be strongest.

The contents of total phosphorus (Fig. 45-46) in various groups of water courses and depth levels reveal the variable's essential importance to the processes of natural waters. The enrichment coefficients, which are similar in the southern parts of Vuoksi water course and Lake Päijänne as well as in Kokemäenjoki water course, which is most clearly marked by man, are of the order of iron, too. The concentration of total phosphorus (20 %) in surface waters is to be considered worth noticing. The southern and south-western coastal area, Kokemäenjoki water course and parts of the southern part of Kymijoki water course, Lake Päijänne included, differ from the other groups in the abundance of phosphorus accumulated in hypolimnic waters. The contents are the slightest in the eastern part of Vuoksi water course whereas contents in the western part, particularly in the over lying water layers, are conspicuous. From the contents of total phosphorus (Fig. 49) given in per cent of total nitrogen contents, the common shortage of phosphorus can be clearly seen as compared with nitrogen, particularly in the over lying water layers, and on the other hand the charging of phosphorus in the near bottom water layer. The variation of the relations between phosphorus and nitrogen contents is found to be due to the variation of phosphorus content. Certainly the importance of substances, reserved by bottom sediments, for the water quality in lakes is rapidly growing.

The contents of organics in the bottom sediment (Fig. 54-55) of the lake deeps seem to be increasing from coast to inland. Also the iron and manganese contents are at the lowest in the southern and south-western parts of the country, like total phosphorus and nitrogen contents. The returning of substances from the bottom mud may be the reason for that. The mean total phosphorus and nitrogen contents in bottom sediments are at the highest in areas where the respective contents in water are at the lowest. Zinc is the only of the analysed substances whose contents seem to follow the increasing of man's activities in the surroundings.

Despite the shortness of the observation period (6 years) the grouped datas were also reviewed in order to throw light upon possible changes in water quality. Even though no plain trend was to be seen during the short observation period some facts observed in various groups of water courses may be considered signs of growing old. In the first place such are the increasing yearly mean contents of iron and colour in the near bottom water layers as well as the increasing of the mean and minimum values of conductivity and chlorides. On the other hand, facts pointing to the decreasing pH values or to increasing sulfur contents were not to be seen.

The examined factor construction (Fig. 3-6) reflects the ideas which the authority controlling water pollution has about the water quality. The observation has been carried out by employing characteristics which are next threatened by changes or which otherwise have turned out to be distinctive. Consequently the fairly large number of electrolytes employed leads to emphasizing which might be capable to prevent some parameters possibly lying at a greater distance from the factors, from affecting water quality, in other words, its factor construction.

Substantial differences of water quality between different layers are to be seen in Table (7) showing factor construction:

Surface (1 m) and epilimnic (5 m) waters are in the main deeps of the fairly large lakes nearly of the same quality towards the end of the winter, salt factor being the determination one. The share of oxygen factor in the surface water layer is small. In epilimnic water layer the salt factor has clearly begun to decrease.

The shares of the pH and iron factors of water quality in the middle depth water layer (h) have remained unchanged compared with those in the over lying water layers. The importance of the salt factor is on the other hand substantially smaller equalling a decreased

level in hypolimnic water layer, the oxygen factor being at the same time at its height. The changes are considered to show that the water is growing old in the basins.

Water quality in the near bottom hypolimnion (2h-1) differs most distinctively from that in the other water layers in the maximum sized iron factor. Respectively the values of the pH and oxygen factors have decreased.

Employing the grouping analyse, a number of variables have been divided into five sub-groups (Fig. 56-69) whose inner construction should be as homogenous as possible. The results, which are given concentrated in Table 8, are based on water quality in the middle depth layer. The bulk of water masses in the large and fairly large lakes is still seen to be slightly disturbed: Groups N:o 1 and 2 are including 70 per cent of all the observation stations. Group N:o 5, which without doubt represents waters considered already polluted, includes at most seven per cent of all the observation stations (according to oxygen content). If the whole water column is taken into consideration the percentage is nine.

## KIRJALLISUUTTA

- APHA, AWWA, WPCF. 1965. Standard methods for the examination of water and waste water. New York.
- Gröterud, O. 1971. Nutrients in ice. Some data from a high mountain lake. Esitelmä S.I.L:n XVIII kongressissa.
- Haase, L-W. 1960. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung. Weinheim.
- Harman, H.H. 1960. Modern factor analysis. Chicago.
- Henriksen, A. 1969. Analyse forskrifter for Auto-Analyzer. Niva (1969).
- Jaatinen, S. 1971. Water resources in Finland. Aqua fennica 1971. Vammala.
- Järnefelt, H. 1956. Zur Limnologie einiger Gewässer Finnlands XVII. Ann. Zool. Soc. Vanamo 18. Helsinki.
- Järnefelt, H. 1958. Vesiemme luonnontalous. Helsinki.
- Kolkwitz, R. 1950. Oekologien der Saprobien. Berlin.
- Komiteanmietintö 1968. B 19. Vesianalyysitoimikunnan mietintö. Helsinki.
- Laaksonen, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. Vesiensuojelun valvontaviranomaisen vuosi 1962-1968 suorittamaan tarkkailuun perustuva tutkimus. Maa- ja vesitekn. tutkimuksia 17. Helsinki.
- Maristo, L. 1941. Die Seetypen Finnlands auf floristischer und vegetationsphysiognomischer Grundlage. Ann. Zool. Soc. Vanamo 15. (5). Helsinki.
- Maucha, R. 1932. Hydrochemische Methoden in der Limnologie. Die Binnengewässer XII. Stuttgart.
- McQueen, J.B. 1966. Some methods of classification and analysis of multivariate observations. 5<sup>th</sup> Berkeley symposion. Math. stat. and prob. I.
- Mortimer, C.H. 1956. The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating the percentage saturation. Mitt. int. Ver. Limnol. 6. Stuttgart.
- Mortimer, C.H. 1971. Chemical exchanges between sediments and water in the great lakes - Speculations on probable regulatory mechanisms. Limnol. Oceanogr. 16 (2). Lawrence.
- Ohle, W. 1940. Vergleichend-chemische Erforschung der südschwedischen Braunwasserseen. Forsch. Fortschr. 5. Berlin.
- Ohle, W. 1953. Phosphor als Initialfaktor der Gewässereutrophierung. Vom Wasser 20. Weinheim.
- Ohle, W. 1955. Ionenaustausch der Gewässersedimente. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., suppl. 8.
- Ohle, W. 1958. Die Stoffwechseldynamik der Seen in Abhängigkeit von der Gasausscheidung ihres Schlammes. Vom Wasser 25. Weinheim.
- Ohle, W. 1963. Kolloidkomplexe als Kationen- und Anionenaustauscher in Binnengewässern. Vom Wasser 30. Weinheim.
- Ohle, W. 1965. Nährstoffanreicherung der Gewässer durch Düngemittel und Meliorationen. Münchner Beiträge 12.
- Pennanen, V. 1970. Geelifraktiointi vesitutkimuksessa. Pro gradu-työ, Helsingin yliopiston limnologian laitos.

- Riihinen, O. 1965. Teollistuvan yhteiskunnan alueellinen erilaistuneisuus. Helsinki.
- Ruttner, F. 1940. Grundriss der Limnologie. Berlin.
- Ryhänen, R. 1962. Über den Zustand der Gewässer im südlichen Einzugsgebiet des Kokemäenjoki (Finnland). Ann. Acad. Sci. Fennicae Ser. A III 64. Helsinki.
- Ryhänen, R. 1968. Die Bedeutung der Humussubstanzen im Stoffhaushalt der Gewässer Finnlands. Mitt. int. Ver. Limnol. 14. Stuttgart.
- Ryhänen, R. 1971. Vesistöjen suojelun ja käytön ekologinen tutkimus. Selostus tutkimustyön tuloksista ja niiden hyväksikäyttömahdollisuuksista valtion luonnontieteelliselle toimikunnalle.
- Serruya, C. 1971. Lake Kinneret: The nutrient chemistry of the sediments. Limnol. Oceanogr. 16 (3). Lawrence.
- Simm, H. 1969. Zur Humusforschung der Seen Estlands. Arch. Hydrobiol. 66.3. Stuttgart.
- Siren, A. 1955. Suomen vesistöalueet ja keskimääräiset valuma-arvot. Hydrografisen toimiston tiedonantoja XV. Helsinki.
- Sládeček, V. 1963. A guide to limnosaprobical organisms. Technology of water 7 (2).
- Statens naturvårdsverk. 1969. Bedömningsgrunder för svenska ytvatten. Publikationer 1969 : 1.
- Suomen Elintarviketutkijain Seura. 1962. Juoma- ja talousveden fysikaaliset ja kemialliset tutkimukset. Helsinki.
- Thomas, E.A. 1969. The process of eutrophication in Central European lakes. Eutrophication. Proceedings of a symposium. Washington.
- Vesien suojelutoimiston tiedonantoja. 1967, 1968, 1969, 1970. N:o 26, 33, 35, 45, 59. Vesien suojelutoimiston monistettuja julkaisuja. Helsinki.
- Vesihallitus. 1971. Tiedotus n:o 7. Pohjalietteen analyysituloksia valtakunnallisilta syvännäköhavaintopaikoilta. Vesihallituksen monistettuja julkaisuja. Helsinki.
- Vesihallitus. 1972. Tiedotus n:o 23. Syvännäkö tutkimus VI. Vesihallituksen monistettuja julkaisuja. Helsinki.
- Viro, P.J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Comm. inst. forest. Fenn. 41.2. Helsinki.
- Vollenweider, R. 1970. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD:n monistettuja julkaisuja. Pariisi.

Liite 1. Tehdyt havainnot.  
Appendix 1. Observations made.

Määrittäminen	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Veden korkeus	H	H	H	H	H	H
Lämpötila	P	P	P	P	P	P
Happi	P	P	P	P	P	P
Hiilidioks.	P	P	P	P	P	-
Sameus	(o) V	V	-	-	V	V
Haihd. j.	(o) V	V	V	V	V	-
Hehk. j.	(o) V	V	V	V	V	-
Kiintoaine	-	P	P	P	P	P
Johtokyky	P	P	P	P	P	P
Alkalinit.	P	P	P	P	P	P
Kok. kov.	(o) P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	-
pH	P	P	P	P	P	P
Väri, komp.	P	P	P	P	P	-
Väri, kolorim.	-	-	-	-	P <sup>(o)</sup>	P
KMnO <sub>4</sub>	P	P	P	P	P	(P)
KMnO <sub>4</sub> Scan	-	-	-	-	-	P <sup>(o)</sup>
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	(o) V	V	-	-	-	-
Org. hiili	(o) -	-	V	V	-	V
Kok. typpi	P	P	P	P	P	P
Kok. fosfori	VP	P	P	P	P	P
Kok. rikki	V	V	V	V	V	V
Kalium	V	V	V	V	V	V
Kalsium	V <sup>(o)</sup>	V <sup>(o)</sup>	V	V	V	V
Natrium	V	V	V	V	V	V
Magnesium	-	-	V	V	V	V
Kloridi	P	P	P	P	P	P
Rauta	P	P	P	P	P	P
Mangaani	(o) P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P <sup>(5)</sup>	P
Alumiini	(o) V <sup>(5)</sup>	V <sup>(5)</sup>	-	-	-	-
Ligniini	(o) -	-	V	V	V	V
Pii	-	V	V	V	V	V
Haju	(o) -	-	P	P	-	-
Ulkonäkö	(o) -	-	P	P	-	-

H = tiedot saatu hydrologian toimistosta

P = analysoitu vesipiirissä

V = analysoitu vesitutkimustoimistossa

(o) = ei otettu huomioon

(5) = määrittäminen tehty vain 5 m näytteistä

Liite 2.           Analyysimenetelmät.  
Appendix 2.   *Analytical methods used.*

#### Lämpötila

Ruttner-noutimen sisässä oleva elohopealämpömittari. Ilmoitustarkkuus: 0,1 °C (Ruttner 1940).

#### Happi

Alsterbergin bromi-salisylaattimenetelmä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg/l (Maucha 1932).

#### Hapen kyll. -%

Mortimerin nomogrammi. Ilmoitustarkkuus: 1 % (Mortimer 1956).

#### Hiilidioksidi

Titraus 0,02-n NaOH:lla indikaattorina fenolftaleiini. Ilmoitustarkkuus: 1 mg/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

#### Sameus

Zeiss-Elko sameusmittari. Ilmoitustarkkuus: 1 abs.yks.  $\times 10^3$  (Trübungsmesseinrichtung zum Elko II. Gebrauchsanweisung).

#### Haihdutusjäännös

Lämpötila 103-105 °C. Ilmoitustarkkuus: 1 mg/l (Suomen Elintarviketutkijain Seura 1962).

#### Hehkutusjäännös

Lämpötila 600 °C. Ilmoitustarkkuus: 1 mg/l (Suomen Elintarviketutkijain Seura 1962).

#### Kiintoaine

0,8  $\mu$ :n kalvosuodatin. Kuivatuslämpötila 103-105 °C. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

#### Sähkönjohtokyky ( $\mathcal{H}_{18}$ )

Radiometer - sähkönjohtokykymittari. Ilmoitustarkkuus: 1  $\mu$ S/cm (Vesianalyysitoimikunta 1968).

#### Alkaliniteetti

Titraus 0,02-n HCl:llä. Indikaattorina metyylioranssi ja vuodesta 1966 lähtien metyylipuna-bromkresolvihreä. Ilmoitustarkkuus: 0,01 mval/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

#### Kokonaiskovuus

EDTA-titraus. Ilmoitustarkkuus: 0,1 °dH (Suomen Elintarviketutkijain Seura 1962).

#### pH

Radiometer pH-mittari. Määrittäminen laboratoriossa huoneenlämpöisestä näytteestä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 (Vesianalyysitoimikunta 1968).

#### Väri

Vv. 1965-1969 Hellige-Nesslerputkikomparaattori, standardikiekot (Pt). Ilmoitustarkkuus: 5 mg Pt/l. Vv. 1969-1970 fotometri, jolloin sameus on eliminoitu. Ilmoitustarkkuus: 1 mg Pt/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**KMnO<sub>4</sub> -kulutus**

Vv. 1965-1970 hapan keitto. Ilmoitustarkkuus: 1 mg KMnO<sub>4</sub>/l (Haase 1960). Vuodesta 1970 lähtien Scan-menetelmä (Paperi ja Puu 1966).

**K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> -kulutus**

Hapetus happamassa liuoksessa. Ilmoitustarkkuus: 1 mg O<sub>2</sub>/l (Standard Methods 1965).

**Orgaaninen hiili**

Beckmanin infrapuna-analysaattori. Kestävöinti: Vuonna 1967 n. 20 mg HgI<sub>2</sub>/250 ml näytettä. Vuodesta 1968 alkaen 1 ml 5-%:ta CuSO<sub>4</sub>/250 ml näytettä. Ilmoitustarkkuus: 0,5 mg C/l (Beckman Instructions 1307-B 1965).

**Kokonaistyyppi**

Rikkihappopoltto Devardan seos katalysaattorina. NH<sub>4</sub>:n määrittäminen tislauksen jälkeen Nesslerin reagenssin avulla. Kestävöinti: Mikäli määrittäystä ei suoriteta välittömästi lisätään 1 ml väk. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/250 ml näytettä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg N/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Kokonaisfosfori**

Rikkihapo-vetyperoksidipoltto. Fosfaatin määrittäminen ammoniummolybdaatilla käyttäen askorbiinihappoa pelkistimenä. Kestävöinti: Vuoteen 1966 saakka 1 ml väk. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/250 ml näytettä. Tämän jälkeen ei kestävä, vaan määrittäminen suoritetaan välittömästi tai viimeistään seuraavana päivänä. Ilmoitustarkkuus: 0,01 mg P/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Kokonaisrikki**

Vetyperoksidihapetus emäksisessä liuoksessa ja sulfaattimäärittäminen turbidimetrisesti. Kestävöinti: 8 tablettia NaOH/250 ml näytettä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg S/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Kalium**

Vv. 1965-1967 liekkifotometri. Vv. 1968-1970 atomiabsorptiospektrofotometri. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg K/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Kalsium**

Atomiabsorptiospektrofotometri. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg Ca/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Natrium**

Kuten kalium (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Magnesium**

Kuten kalsium (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Kloridi**

Titraus Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>:lla pH 2,5:ssä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg Cl/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Rauta**

1965 rodanidimenetelmä. Vv. 1966-1970 fenantroliinimenetelmä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg Fe/l (Suomen Elintarviketutkijain Seura 1962 ja Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Mangaani**

Vv. 1965-1967 hapetus permanganaatiksi. Mittaus nesslerputkissa standardivärikiekoilla. Ilmoitustarkkuus: 0,05-0,1 mg Mn/l. Vv. 1965-1970 mittaus fotometrillä. Ilmoitustarkkuus: 0,01 mg Mn/l (Vesianalyysitoimikunta 1968).

**Alumiini**

Aluminonimenetelmä (Suomen Elintarviketutkijain Seura 1962).

**Ligniini**

PEARL-BENSON-nitrosoligniinimenetelmä. Standardina Keskuslaboratorion valmistama kalsiumlignosulfonaatti (Tappi 1963).

**Pii**

Vv. 1965-1969 kolorimetrinen molybdosilikaattimenetelmä. Ilmoitustarkkuus: 0,1 mg SiO<sub>2</sub>/l (Standard Methods 1965). Vuodesta 1970 vastaava määrittäminen AutoAnalyzerille sovellettuna (Henriksen 1969).



Liite 3. Reikäkorttiavain ja virherajat.  
 Appendix 3. Key to card index and the limits of errors.

1-3	Havaintopaikka	000	1-400
4-5	Vesistöryhmä	00	10-80
6-7	Vuosi	00	65-70
8-10	Veden korkeus cm	000,	0-999
11-12	Näytteen syvyys m	00,	1-99
13-14	Syvyysvyöhyke	00	1-15
15-16	Koko syvyys m	00,	1-99
17-19	Lämpötila °C	00,0	0,1-10,0
20-22	Happi %-kyll.	000,	0-110
23-24	Hiilidioks. mg/l	00,	0-99
25-27	Kiintoaine mg/l	00,0	0-99,0
28-30	Sähkönjohtokyky $\kappa_{18}$ $\mu$ S	000,	10-500
31-33	Alkalinit. mval/l	0,00	0-2,50
34-35	pH	0,0	3,0-9,0
36-38	Väri mg/l Pt	000,	1-800
39-41	KMnO <sub>4</sub> -kul. mg/l KMnO <sub>4</sub>	000,	5-700
42-43	Kok. typpi mg/l N	0,0	0,1-9,9
44-46	Kok. fosfori $\gamma$ /l P	,000	0,001-0,990
47-49	Kok. rikki mg/l S	00,0	0,0-50,0
50-52	Kalium mg/l	00,0	0,1-10,0
53-55	Kalsium mg/l	00,0	0,1-50,0
56-58	Natrium mg/l	00,0	0,1-50,0
59-61	Magnesium mg/l	00,0	0,1-20,0
62-64	Kloridi mg/l	00,0	0,1-50,0
65-67	Rauta mg/l	00,0	0,1-50,0
68-70	Pii mg/l SiO <sub>2</sub>	00,0	0,1-50,0
71-73	Sen vesipatsaan paksuus %:na koko syvyydessä, jossa hapen kyll-% $\geq 70$	000,	0-100
74-76	Kuten ed; hapen kyll-% $\geq 30$	000,	0-100
77-79	Kuten ed; hapen kyll-% $\geq 10$	000,	0-100

# POHJA BOTTOM

1-3	Havaintopaikka	000	1-400
4-5	Vesistöryhmä	00	10-80
6-7	Vuosi	00	65-70
8-9	Hehk. jäänn. % haihd. j:stä	00,	1-99
10-11	Hehk. häviö % haihd. j:stä	00,	1-99
12-14	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -kul. mg/g O <sub>2</sub> (kuivap)	000,	5-500
15-17	Kok. typpi mg/g N	00,0	0,5-20,0
18-20	Kok. fosfori mg/g P	00,0	0,1-30,0
21-23	Rauta mg/g	000,	5-400
24-26	Mangaani mg/g	00,0	0,1-20,0
27-29	Sinkki mg/g	0,00	0,02-2,00

[illegible][illegible]

Appendix 4. The number of surface and epilimnic water samples and their correlation coefficients.

[illegible]

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
	PÄÄLLYSVESI <i>EPILIMNIC WATERS</i>																			
26	näytteen syv. <i>sampling depth</i>				757				39				kalium <i>potassium</i>				750			
27	lämpötila <i>temperature</i>				755				40				kalsium <i>calcium</i>				498			
28	hapen kyll. <i>oxygen sat.</i>				746				41				natrium <i>sodium</i>				750			
29	hiilidioksi. <i>carbon dioxide</i>				585				42				magnesium <i>magnesium</i>				498			
30	kiintoaine <i>susp. solids</i>				572				43				kloridi <i>chloride</i>				745			
31	johtokyky <i>conductivity</i>				744				44				rauta <i>iron</i>				585			
32	alkalinit. <i>alkalinity</i>				747				45				pii <i>silicon</i>				618			
33	pH <i>pH</i>				738															
34	väri <i>colour</i>				742															
35	KMnO <sub>4</sub> -kul. <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>				653															
36	kok. typpi <i>tot. nitrogen</i>				728															
37	kok. fosfori <i>tot. phosphorus</i>				713															
38	kok. rikki <i>tot. sulfur</i>				741															

PÄÄLLYSVESI *EPILIMNIC WATERS*

1	veden korkeus <i>water level</i>	700	14	kok. fosfori <i>tot. phosphorus</i>	699
2	näytteen syv. <i>sampling depth</i>	738	15	kok. rikki <i>tot. sulfur</i>	725
3	koko syvyys <i>depth</i>	738	16	kalium <i>potassium</i>	731
4	lämpötila <i>temperature</i>	736	17	kalsium <i>calcium</i>	489
5	hapen kyll. <i>oxygen sat.</i>	727	18	natrium <i>sodium</i>	733
6	hiilidioks. <i>carbon dioxide</i>	575	19	magnesium <i>magnesium</i>	489
7	kiintoaine <i>susp. solids</i>	561	20	kloridi <i>chloride</i>	727
8	johtokyky <i>conductivity</i>	727	21	rauta <i>iron</i>	574
9	alkalinit. <i>alkalinity</i>	732	22	pii <i>silicon</i>	605
10	pH <i>pH</i>	721	23	happi <i>oxygen</i> $\geq 70 \%$	727
11	väri <i>colour</i>	725	24	happi <i>oxygen</i> $\leq 30 \%$	728
12	KMnO <sub>4</sub> -kul. <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>	641	25	happi <i>oxygen</i> $\geq 10 \%$	726
13	kok. typpi <i>tot. nitrogen</i>	714			



[illegible]

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

1	veden korkeus <i>water level</i>	162	14	kok. fosfori <i>tot. phosphorus</i>	169
2	näytteen syv. <i>sampling depth</i>	170	15	kok. rikki <i>tot. sulfur</i>	170
3	koko syvyys <i>depth</i>	170	16	kalium <i>potassium</i>	170
4	lämpötila <i>temperature</i>	170	17	kalsium <i>calcium</i>	170
5	hapen kyll. <i>oxygen sat.</i>	169	18	natrium <i>sodium</i>	170
6	hiilidioks. <i>carbon dioxide</i>	160	19	magnesium <i>magnesium</i>	170
7	kiintoaine <i>susp. solids</i>	165	20	kloridi <i>chloride</i>	168
8	johtokyky <i>conductivity</i>	170	21	rauta <i>iron</i>	156
9	alkalinit. <i>alkalinity</i>	170	22	pii <i>silicon</i>	170
10	pH <i>pH</i>	170	23	happi <i>oxygen</i> $\geq 70 \%$	170
11	väri <i>colour</i>	162	24	happi <i>oxygen</i> $\geq 30 \%$	170
12	KMnO <sub>4</sub> -kul. <i>KMnO<sub>4</sub> cons.</i>	170	25	happi <i>oxygen</i> $\geq 10 \%$	169
13	kok. typpi <i>tot. nitrogen</i>	169			



Liite 7. Virtapaikoilta 1962-1968 tehtyihin havaintoihin perustuva rotatoitu faktori-matriisi.  
 Appendix 7. Rotated factor matrix for running water data 1962-1968.

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	h <sup>2</sup> <sub>j/6</sub>	h <sup>2</sup> <sub>j/12</sub>
Virtaama							,03	,18
Runoff								
Lämpötila							,03	,21
Temperature								
Happi					-,58		,39	,46
Oxygen								
Sameus	,32		,83				,80	,87
Turbidity								
Kiintoaine	,31		,88				,88	,92
Suspended solids								
Haihdutusjäännös	,77		,45				,88	,97
Total residue								
Hehkutusjäännös	,80		,44				,86	,97
Fixed residue								
Johtokyky	,92						,91	,93
Conductivity								
Alkaliniteetti	,33	-,57					,48	,55
Alkalinity								
Kokonaiskovuus	,93						,91	,96
Total hardness								
pH		-,73					,62	,65
pH								
Väri		,31	,53			,50	,64	,69
Colour								
KMnO <sub>4</sub> -kulutus		,52			,47	,32	,68	,71
KMnO <sub>4</sub> cons.								
BHK <sub>5</sub>					,62		,49	,60
BOD <sub>5</sub>								
Kolibakteerit				,83			,70	,72
Coliforms								
Enterokokit				,80			,70	,73
Enterococci								
Kokonaistyyppi	,37		,46		,42		,57	,67
Total nitrogen								
Kokonaisfosfori			,41		,46		,53	,57
Total phosphorus								
Kokonaisriikki	,82	,38					,83	,86
Total sulfur								
Kalium	,70		,30				,64	,89
Potassium								
Natrium	,76					,32	,81	,87
Sodium								
Kalsium	,92						,93	,96
Calcium								
Magnesium	,90		,41				,97	1,00
Magnesium								
Kloridi	,71					,54	,86	,87
Chloride								
Rauta	,30		,74			,33	,77	,81
Iron								
Mangaani	,46	,41					,44	,54
Manganese								
Ominaisarvo	10,23	2,26	1,71	1,46	1,06	,64		
Eigen value								
Ominaisarvo, % ominais-								
arvojen summasta	53	12	9	8	6	3		
Eigen value %								